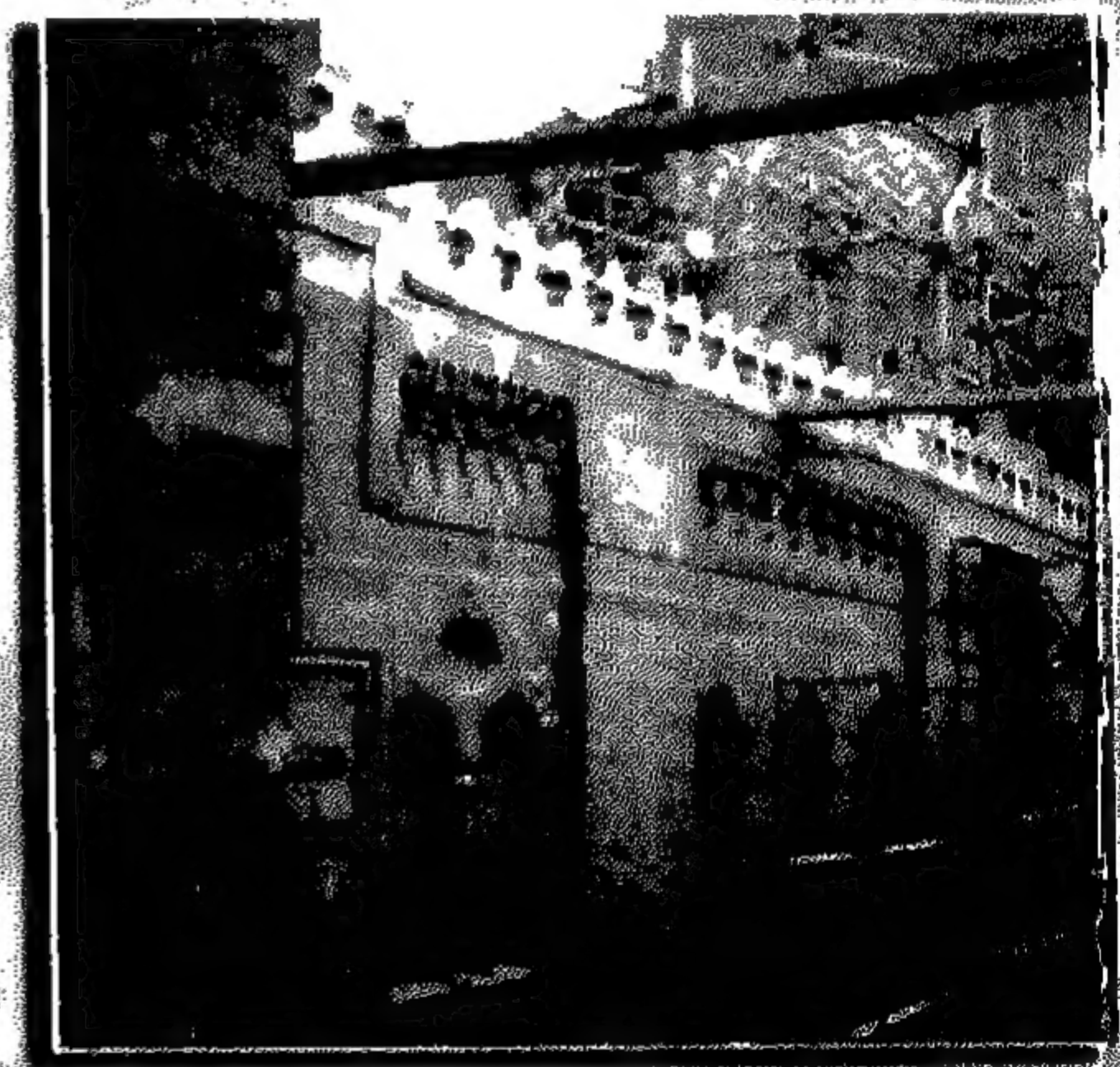
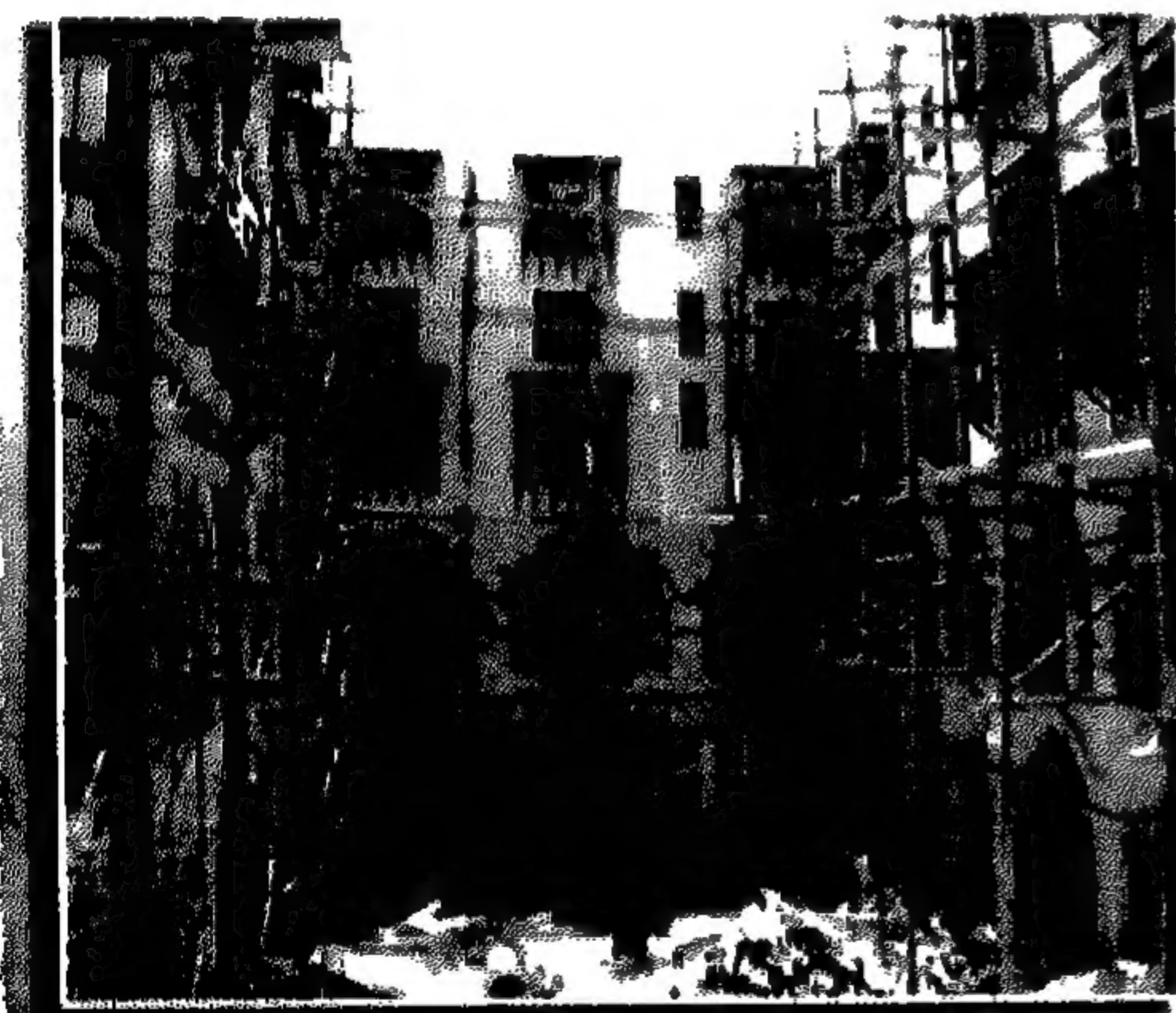


# تكنولوجيا الحياة المواد

## وصيانة المباني الأثرية

تأليف : جورجيو توراكا  
ترجمة : د. أحمد إبراهيم عطية



دار الفجر للنشر والتوزيع





**تكنولوجيا المواد**  
**وصيانة المباني الأثرية**



# تكنولوجيا المواد وصيانة المباني الأثرية

تأليف

جورجيو توراكا

ترجمة

دكتور / أحمد إبراهيم عطية

مدرس ترميم الآثار - كلية الآداب بسوهاج

دار الفجر للنشر والتوزيع

2003

الطبعة الأولى 2003 م

رقم الإيداع  
16032  
الترقيم الدولي I.S.B.N.  
977-358-011-3

**Porous Building Materials**  
**Materials Science of Architectural Conservation**  
**By Giorgio Torraco**

دار الفجر للنشر و التوزيع  
4 شارع هاشم الأشقر - الزهة الجديدة - القاهرة  
ت : 2944119 (00202) ف : 2944094 (00202)

لا يجوز نشر أي جزء من الكتاب أو اختزان مادته بطريقة الاسترجاع أو نقله على أي نحو أو بأي طريقة سواء كانت إلكترونية أو ميكانيكية أو بخلاف ذلك إلا بموافقة الناشر على هذا كتابة و مقدما .

حقوق الطبع و الاقتباس و الترجمة  
و النشر محفوظة للناشر

**بسم الله الرحمن الرحيم**

**( فأما الزبد فيذهب جفاء وأما**

**ما ينفع الناس فيمكث في الأرض)**

**" صدق الله العظيم "**





الإهداء

للأخى محمد ..

وابنى محمد ..



## المحتويات

الصفحة	
19	- تقديم
21	- مقدمة
25	- الفصل الأول : حركة المياه في الجوامد المنفذة
27	1-1- الأسطح القطبية .
37	1-2- انتشار الماء في مسام المواد القطبية .
46	1-3- حركة المياه في الحالة السائلة
48	1-4- حركة المياه في الحالة الغازية
54	1-5- الارتفاع الشعري في المباني المسامية
55	1-6- الأسطح غير القطبية
59	- الفصل الثاني : تلف المواد المسامية - الضغوط
	2-1- سلوك المواد الهشة تحت إجهادات
61	الضغط والشد
69	2-2- الضغط الخارجي .
80	2-3- الضغط الداخلي
91	الفصل الثالث : العمليات الكيميائية - التآكل
93	3-1- مياه الأمطار
95	3-2- تلوث الجو
98	3-3- عمليات البلل والجفاف
102	3-4- المناخ وتلوث الهواء



107	- الفصل الرابع : التلف البيولوجى للمواد المسامية
109	٤-٢- البكتريا والفطريات
110	٤-٢- الطحالب
111	٤-٣- الحزازات
112	٤-٤- طحالب المستنقعات
112	٤-٥- النباتات العليا
113	الفصل الخامس : الاهتزاز
115	٥-١- مقدمة
117	٥-٢- قياسات وتعريفات
119	٥-٣- السعة
120	٥-٤- قمة السرعة
124	٥-٥- العجلة
125	٥-٦- الشدة والطاقة والضغط
126	٥-٧- الاهتزاز المروى وأثره على المباني
130	٥-٨- صدى الصوت
139	الفصل السادس : الروابط
141	٦-١- الجبس
144	٦-٢- الجير
150	٦-٣- المون الهيدروليكيه
155	٦-٤- الاسمنت البوتلاندى
160	٦-٥- الخرسانه الحديثه
162	٦-٦- عيوب الاسمنت البورتلاندى
165	٦-٧- مون الجير والاسمنت

166	٦-٨ - تلف الخرسانه
169	الفصل السابع : <u>صيانة الأحجار</u>
171	٧-١ - التشخيص
172	٧-٢ - التنظيف
178	٧-٣ - التقوية
188	٧-٤ - الحماية
195	الفصل الثامن : <u>الطفله والطوب اللبن والطوب المحروق</u>
197	٨-١ - معادن الطفله
202	٨-٢ - التربه
203	٨-٣ - التربه كمادة بناء
205	٨-٤ - تجويه منشآت الطين
207	٨-٥ - حماية مباني الطوب اللبن
211	٨-٦ - الطوب المحروق والفخار والخزف
215	الفصل التاسع : <u>تحلل المباني وصيانتها</u>
217	٩-١ - الرطوبة في المباني
219	٩-٢ - الأملاح الذائبة في المباني
221	٩-٣ - البياض طبقة حماية قربانيه
	٩-٤ - الجفاف في المباني
230	٩-٥ - تطبيقات غير ملائمة في صيانة المباني
233	٩-٦ - العلاج غير القطبي للجوامد القطبية
237	الفصل العاشر : <u>اللدائن الصناعية</u>
239	١٠-١ - راتجات ثرموبلاستيك
247	١٠-٢ - راتجات ثرموسيتنج

250	١٠-٣- تجوية اللدائن الصناعية
253	الفصل الحادى عشر : السيليكات والسيليكونات
255	١١-١- السيليكات والسيليكا
259	١١-٢- السيليكونات
260	١١-٣- السيليكونات الطاردة للماء



## الأشكال

الصفحة	الموضوع	رقم
28	الروابط بين ذرات غاز ثنائي اكسيد الكربون .	١
29	الروابط بين ذرات جزيء الماء.	٢
31	السطح القطبي وكيفية جذب لجزيئات الماء.	٣
32	اسلوب تكون الرابطة الهيدروجينية .	٤
36	حركة الأيونات الموجبة في المجال الكهربى	٥
37	قوى التجاذب بين جزيئات الماء.	٦
38	قوى التجاذب بين الجامد والسائل القطبى .	٧
39	شكل المياه داخل الجوامد المنفذة .	٨
41	الخاصة الشعرية .	٩
44	مستويات انتشار الماء في الجوامد المنفذة القطبية	١٠
45	تميؤ الأملاح .	١١
56	الروابط غير القطبية .	١٢
57	مظهر قطرة الماء على سطح الجوامد غير القطبية	١٣
58	مظهر الماء في مسام المواد غير القطبية.	١٤
62	رسم بياني يوضح قوى الضغط والشد في المواد الهشة	١٥
66	مناطق تركيز الضغط في العينات المختبرة.	١٦
67	معامل تعاضل ضغوط الشد ومعادلة معامل التعاضل.	١٧
70	الضغوط التي تتعرض لها الأعمدة والاعتاب	١٨
71	ضغوط التمدد الحرارى في مواد البناء.	١٩
72	التمدد والانكماش في مواد البناء.	٢٠

٢١	التشوهات التي تحدث في طبقات الكسوة الخارجية
74	بسبب التمدد الحرارى .
٢٢	تمدد وإنكماش بلورة الرخام بسبب التغير فى معدلات
75	الحرارة .
٢٣	حالات نمو البلورات داخل مسام المواد المنفذة .
82	الضغوط الناتجة عن تبلور الأملاح داخل مسام المواد
٢٤	المنفذة .
84	
٢٥	التآكل النقرى بفعل الرياح .
86	
٢٦	تزهير الأملاح على أسطح المواد المسامية
88	
٢٧	الطرق المختلفة لمهاجمة ثانى اكسيد الكبريت لمواد
97	البناء الجيرية .
٢٨	تأثير دورات البلل والجفاف وأيضا التجوية على
100	أسطح مواد البناء.
٢٩	فعل الرياح السريعة على الملوثات الناتجة عن
103	المصانع .
٣٠	ظاهرة الانقلاب الحرارى .
103	
٣١	الانقلاب الحرارى فى الوديان فى فصل الشتاء.
104	
٣٢	مدينة فينيسيا فى ليلة شتاء صافية.
105	
٣٣	حركة الاهتزاز .
117	
٣٤	تضاؤل موجة الاهتزاز كلما بعدت عن المصدر .
119	
٣٥	شك الجبس الباريسى .
142	
٣٦	أفران صناعة الجير .
146	
٣٧	حفرة طفى الجير .
147	

156	خطوات صناعة الأسمنت البورتلاندى.	٣٨
159	عملية شك الأسمنت البورتلاندى .	٣٩
	الفرق بين الخرسانة العادية والخرسانة سابقة	٤٠
161	الاجهاد.	
	طريقة النسف بالحصى المستخدمة فى تنظيف	٤١
174	الأحجار .	
175	طريقة رذاذ الماء المستخدمة فى تنظيف الأحجار	٤٢
180	طريقة التشبييع المستخدمة فى تقوية الأحجار.	٤٣
	مقاومة المقويات غير العضوية للقدم والصدمات	٤٤
183	الميكانيكية .	
	مقاومة المقويات العضوية للصدمات الميكانيكية	٤٥
184	وعدم مقاومتها للقدم .	
188	اسلوب معالجة الشروخ والفجوات داخل الأحجار.	٤٦
197	شكل بلورة الطفلة .	٤٧
198	تركيب رقائق بعض أنواع الطفلة .	٤٨
198	أيون الحديد الموجود فى الطفلة .	٤٩
199	انتفاش الطفلة وإنكماشها .	٥٠
200	رقيقة كاولينيت	٥١
201	إنزلاق بلورات الطفلة عند البلل.	٥٢
201	تفكك بلورات الطفلة عند زيادة البلل .	٥٣
203	شكل الطفلة وهى جافة وبعد بللها .	٥٤
205	تجوية مبانى الطوب اللبن .	٥٥
206	الارتفاع الشعري فى مبانى الطوب اللبن .	٥٦



207	الأسقف لحماية المباني الطينية .	٥٧
209	معالجة حائط مبنى بالطوب اللبن .	٥٨
210	روابط السيليكا بين رقائق الطين .	٥٩
212	ناتج حرق الطفلة المخلوطة بالرمل .	٦٠
212	ناتج تفاعل الطفلة مع الصوديوم .	٦١
214	عجينة الخزف .	٦٢
224	خواص طبقة البياض المسامية وغير المسامية	٦٣
227	السيفونات الهوائية .	٦٤
240	مظهر سلاسل البوليمر .	٦٥
241	قوى الاتصال بين الجزيئات .	٦٦
242	ضعف راتنجات ثرموبلاستيك كمادة بناء.	٦٧
242	زيادة قوى التجاذب بين الجزيئات .	٦٨
243	ذوبان راتنجات ثرموبلاستيك .	٦٩
	اعتماد مستحلبات راتنجات ثرموبلاستيك وتفريقها	٧٠
245	للضوء.	
245	مستحلب صابوني لا يذوب في الماء.	٧١
246	استخدام راتنجات ثرموبلاستيك في الصيانة .	٧٢
247	مراحل تصنيع راتنجات ثرموسيتنج.	٧٣
249	مقاومة راتنجات ثرموسيتنج للأحمال.	٧٤
252	أكسدة البوليمرات .	٧٥
256	استخدام هيدروكسيد السيليكون في التقوية .	٧٦

## الجدول

الصفحة	البيان	رقم
76	مقدار التمدد الحرارى لبعض مواد البناء.	١
77	معامل التمدد الحرارى لبعض مواد البناء.	٢
122	المواصفه القياسية رقم ٤١٥٠	٣
123	أضرار الاهتزاز على المباني .	٤
136	طاقة الاهتزاز والتلف الناتج عنها .	٥
158	الرموز المستخدمة فى كمياء الأسمنت	٦





## تقديم

لاشك أن الكتب المؤلفة باللغة العربية ، فى مجال صيانة وترميم الآثار . لازالت قليلة العدد . ضعيفة المستوى ، وغالبا ماتعتمد فى الأصل على الترجمة والنقل من المصادر الأجنبية ، لا على الإنتاج العلمى والتأليف . لذلك رأى المترجم أن ينقل إلى اللغة العربية ، واحد من أفضل المراجع الأجنبية التى صدرت فى النصف الأخير من القرن العشرين، والذى قام بتأليفه وأحد من أشهر أساتذة علم المواد فى كلية الهندسة جامعة روما .

هذا الكتاب عنوانه الأصلى :

**" Porous Building Materials. Materials Science For Architectural Conservation "**.

ومطبوع بمعرفة الايكروم ICCROM.

وقد اعتمد اختيارى لهذا الكتاب لترجمته إلى اللغة العربية على عدة

أسباب :

- ١- ان المكتبة العربية ليس بها كتاب يرقى لمستوى هذا الكتاب فى مجال صيانة وترميم الآثار .. وتكنولوجيا المواد .
- ٢- أن محتوى الكتاب يدخل ضمن التخصص الدقيق للمترجم .
- ٣- غزارة المحتوى العلمى للكتاب على الرغم من قلة عدد صفحاته .
- ٤- محاولة المؤلف تبسيط العلوم المختلفة لخدمة مجال صيانة وترميم الآثار .
- ٥- اعتماد المؤلف على الأشكال التوضيحية التى تكاد تنطق بأفكار المؤلف دون كتابتها .

٦- أن معظم الباحثين المصريين إستفادوا من محتوياته؛ ونقلوا معظم أشكاله التوضيحية .

وقد إختار المترجم العنوان الآتى:

"تكنولوجيا المواد وصيانة المباني الأثرية "

هذا العنوان إختاره المترجم من بنات أفكار المؤلف نفسه، الذكر ذكر فى مقدمة الكتاب .. أنه عبارة عن سلسلة من المحاضرات فى تكنولوجيا المواد ، تدخل ضمن مجموعة من المحاضرات العامة عن صيانة المباني . وقد التزم المترجم - بقدر الإمكان - بنص الكتاب ، وحاول الكشف عن غموض بعض الجمل والعبارات ، بتفسيرها تفسيراً علمياً ، مع وضع إضافات المترجم للنص الأصلي بين قوسين .

والمترجم إذ يشكر السيد الأستاذ عبدالحى أحمد فؤاد صاحب دار الفجر للنشر والتوزيع لتعاونه فى نشر هذا الكتاب وغيره من كتب المؤلف . يأمل أن يكون قد نقل إلى اللغة العربية كتاباً يثرى حقل الصيانة والترميم ، ويخدم العاملين فيه ، والباحثين ... من أجل الحفاظ على التراث الإنسانى ، وحضارات الشعوب ..

مع رجاء خاص من كل قارئ إبداء الراى وإسداء النصيحة ، من أجل إثراء الفكر .. ونشر الثقافة ..

وعلى الله قصد السبيل .. والحمد لله رب العالمين ..

دكتور/ أحمد ابراهيم عطيه

## مقدمة المؤلف

تقاسى مواد البناء كالطوب والمؤن والحجر المسامى .. من عوامل التلف المختلفة، عندما تتعرض لها من خلال وجودها فى البيئة المحيطة بالمباني الأثرية ، حيث أن هذه العوامل ذات تأثيرات متباينة على هذه المواد . وهذا يعتمد على خواص المواد نفسها ، وعلى تأثير العديد من العوامل الجوية التى تعمل منفصلة أو مشتركة مع بعضها ، وتؤثر جزئيا أو كليا على هذه المواد.

وبناء على ذلك فإن معدلات تأثير هذه العوامل على مواد البناء، ومظاهرها .. تختلف عن بعضها ، وليس من السهل تعريفها.

وإذا كانت المعلومات المتفرقة والمتاحة من مختلف العلوم والتقنيات، يمكن تجميعها فى إطار عام لتصبح نموذجا يحتذى أو قاعدة عامة - نظرية - ذات فائدة تسمح بتفسير عمليات التحلل ، فإن هذه النماذج أو النظريات التى يمكن تصورها أو الكشف عنها يمكن اختبارها وتعريفها من خلال التطبيقات العملية .

والكتاب الذى بين أيدينا نقدم فيه أفكار مناسبة من مختلف العلوم والمجالات، نعرضها بطريقة مبسطة وواضحة لنعالج بعمق كل موضوع على حده .. مع تجنب المعادلات الكيميائية والرياضية بقدر الإمكان .

وقد تم ذلك بهدفين :

الهدف الأول: أن يكون مانعا للمتخصصين فى العلوم المختلفة من توجيه النقد .. أو حافزا لتقديم مزيدا من المعلومات الدقيقة التى تخدم مجال صيانة الآثار .

**الهدف الثانى : السماح للمتخصصين فى مجال صيانة الآثار ..**  
للتعرف على المضامين العملية للنظريات العلمية ومحاولات تطبيقها فى  
عمليات صيانة الآثار .

إن الغرض الأساسى من وضع هذا الكتاب .. هو تقديم قواعد  
أساسية أو مدخل لسلسلة من المحاضرات فى تكنولوجيا مواد البناء، تدخل  
ضمن مجموعة عامة من المحاضرات فى صيانة المباني ، كتلك المجموعة  
التي وضعت بمعرفة .. الإيكروم ICCROM وكلية العمارة فى روما.

النموذج الموضح فى هذا الكتاب ، وهو نموذج المواد المسامية ،  
يكون التحلل نتيجة لعمليات كيميائية - تآكل - تعمل بالتزامن أو متحدة مع  
الضغوط الميكانيكية .

وفى اعتقادى أن الضغوط وحدها لا تؤثر على المواد المسامية من  
خلال البيئة الخارجية فقط - أو مانسميها : الضغوط الخارجية ، بل إن  
الضغوط النامية داخل هذه المواد فى مواقع خاصة ، والتي نسميها: ضغوط  
داخلية .. تؤثر عليها أيضا .

وبناء على ذلك فإن كل عمليات تحلل لمواد البناء المسامية يمكن  
تعريفها من خلال نموذج خاص ومميز .. هو نموذج التآكل الضغطى  
Stress-Corrosion الذى يشترك فيه كل من الضغوط الخارجية  
والضغوط الداخلية مع العمليات الكيميائية فى إتلاف المواد المسامية ..

هذا إلى جانب حقيقة علمية معروفة ، وهى .. أن التلف الكيميائى  
يحدث فقط فى وجود الماء، كما أن الماء أيضا عامل أساسى فى توليد  
الإجهادات الداخلية .

لذلك قسمت هذا الكتاب إلى الفصول التالية :

**الفصل الأول :** يبدأ بمناقشة عمليات التحلل مع وصف حركة المياه داخل الأجسام الصلبة المنفذة .

**الفصل الثاني :** دراسة الضغوط الميكانيكية الداخلية والخارجية .

**الفصل الثالث :** دراسة عمليات التآكل الكيميائي .

**الفصل الرابع :** وصف عوامل التلف البيولوجي .

**الفصل الخامس :** مناقشة الاهتزازات الميكانيكية كعامل إضافي في تلف المباني الأثرية .

**الفصل السادس :** دراسة المشاكل المحتملة لبعض مواد البناء .

**الفصل السابع :** دراسة للمون المستخدمة في البناء .

**الفصل الثامن :** دراسة أحجار البناء .

**الفصل التاسع :** دراسة ترميم المباني بصفة عامة .

**الفصل العاشر :** مناقشة بعض المواد المستخدمة في صيانة الآثار .

**الفصل الحادي عشر:** دراسة السيليكيات والسيليكونات كمواد تستخدم في مجال صيانة الآثار .





الفصل الأول

حركة المياه في الجوامد المنفذة

**Water movement in Porous Solids**



### ١-١ - الأسطح القطبية Hydrophilic surfaces:

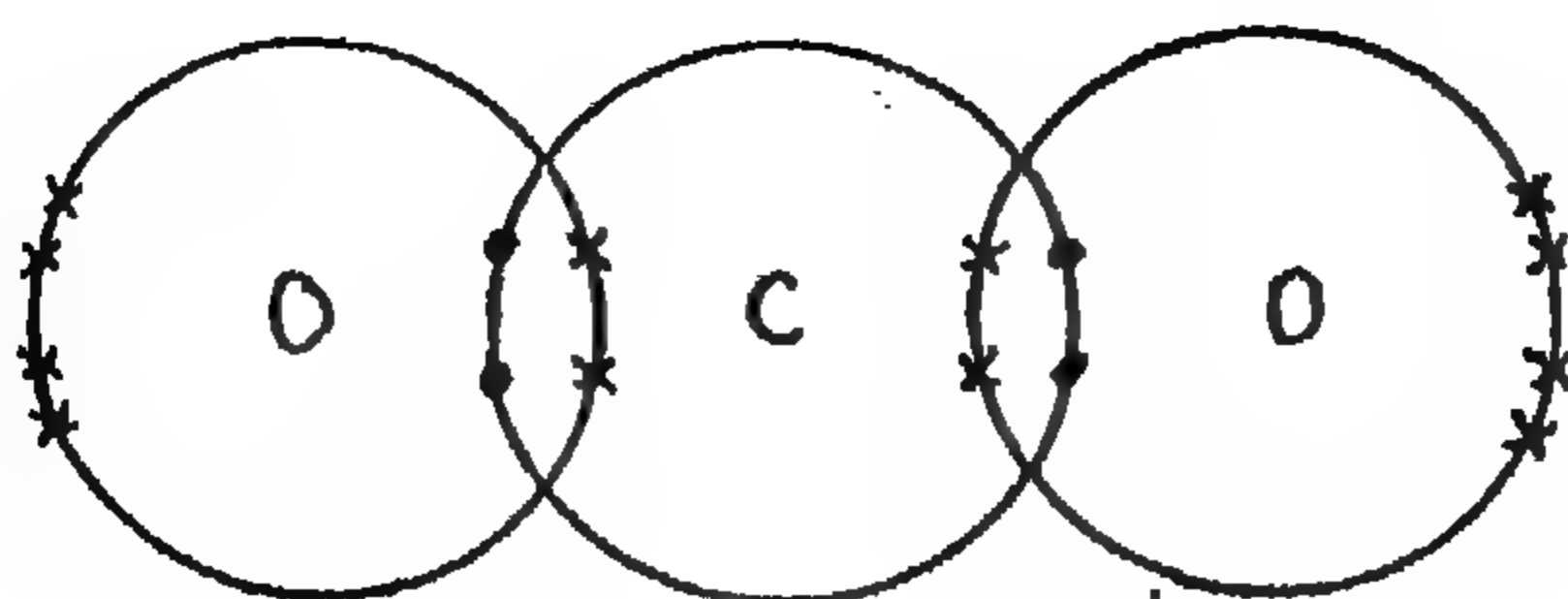
يحتوى الطوب والحجر والمؤن على بلورات Crystals مجموعات الكربونات Carbonates والسيليكات Silicates والألومينات Aluminates أو أكاسيد هذه المجموعات .

كما أن المواد الزجاجية Vitreous والمواد غير البلورية Non-Crystalline تحتوى أيضا على سيليكات .

أسطح هذه البلورات أو المواد الزجاجية تكون غنية بذرات الأكسجين التى تحمل شحنات كهربية سالبة Negative electrical charges ولهذا السبب فإن الأكسجين يظل عنصرا جاذبا للإلكترونات Electron attracting لذلك عندما يكون الأكسجين روابط مع ذرات أخرى مثل : الكربون أو السيليكون أو الألومنيوم ... الخ .. فإنه يكتسب إلكترونين من ذرات هذه العناصر أو يشترك معها ليكون جزيئات مستقرة كيميائيا .

ويدعى زوج الإلكترونات المشترك بين ذرتين عادة باسم : الرابطة Bond.

"ويوضح الشكل رقم (١) الروابط بين ذرات غاز ثانى أكسيد الكربون ، حيث يوجد زوجان من الإلكترونات مشاركان بين كل ذرة أكسجين وذرة الكربون المركزية فى ثانى أكسيد الكربون مكونة ثمانى إلكترونات حول كل ذرة من الذرات الثلاث الموجودة فى المركب ، ويقال أن ثانى أكسيد الكربون به رابطتين مزدوجتين Double bond.



شكل رقم (١) يوضح

الروابط بين ذرات غاز ثاني اكسيد الكربون

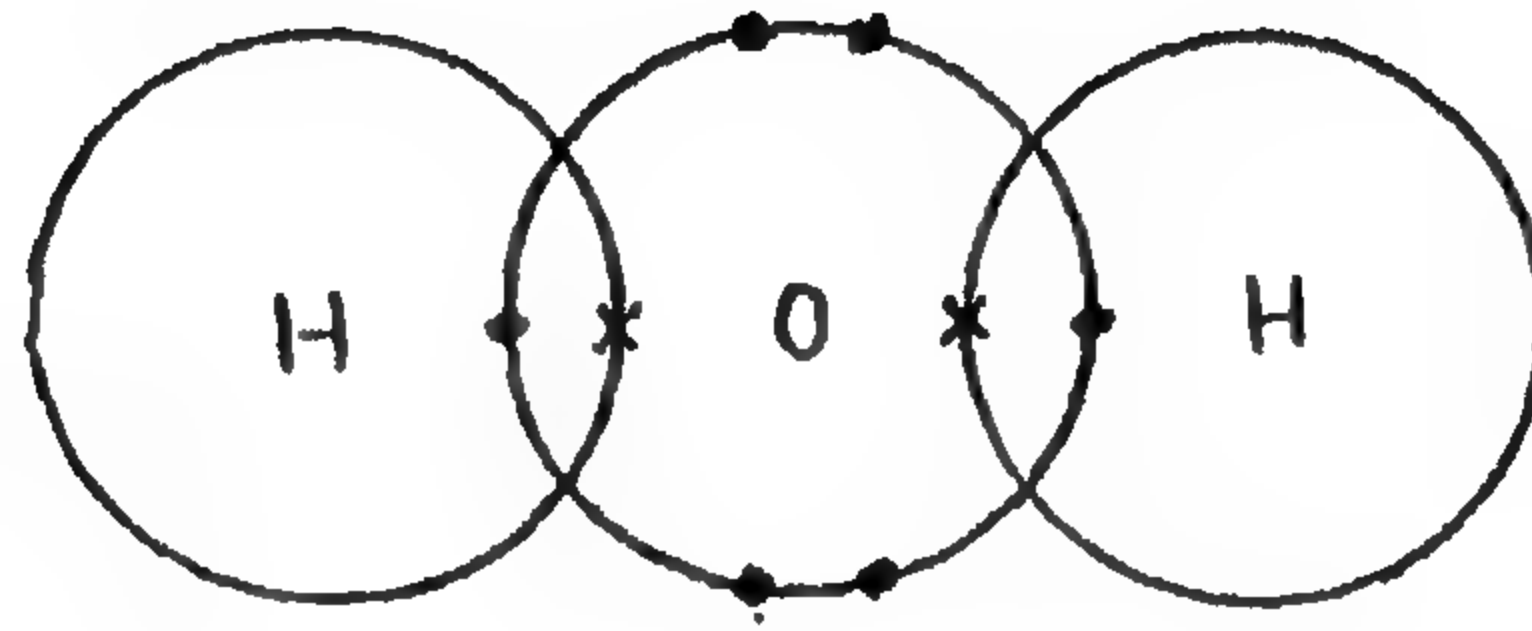
وبلاحظ أن السطح الذى يحتوى على الأكسجين ، يكون الأكسجين فى الغالب مقيدا أو مرتبطا من أحد جوانبه بذرة هيدروجين ، ليكون مجموعة هيدروكسيل  $\text{O} - \text{H}$  Hydroxyl group

هذه المجموعة تحمل شحنة كهربية سالبة على الأكسجين  $\text{O}^-$  وأخرى موجبة على الهيدروجين  $\text{H}^+$  ، وذلك لأن ذرة الأكسجين تحتوى على عدد أعلى من الالكترونات السالبة فى مدارها الخارجى ، لذلك فإنها تجذب عدد أكبر من ذرات الهيدروجين .

" مثال ذلك : ما يحدث فى جزيء الماء - أنظر الشكل رقم (٢) وحيث أن الأكسجين يحتوى على ستة الكترونات فى مداره الخارجى والهيدروجين يحتوى على ذرة واحدة ، فإن ذرة الأكسجين تكون رابطة تساهمية من ذرتين من الهيدروجين " .

ويقال أن جزيء الماء به رابطتين أحاديتين .





شكل رقم (٢) يوضح  
الروابط في جزيء الماء

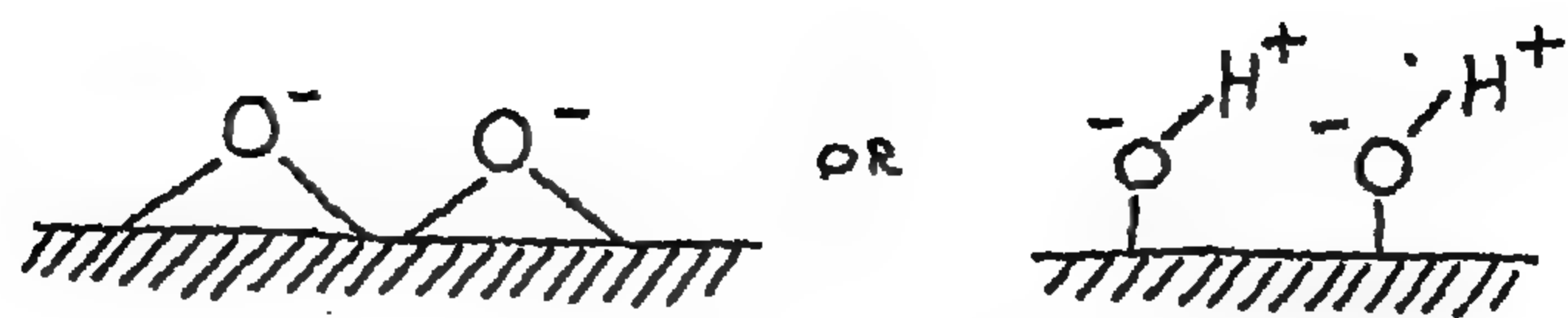
ويحمل طرف الجزيء الأوكسجيني شحنة كهربائية سالبة، والطرف الهيدروجيني شحنة كهربائية موجبة . " لهذا يقال أن جزيء الماء عالي القطبية أو قطب Polar".

والأسطح التي تحتوى على شحنات كهربائية . من ذرات الأوكسجين ، أو مجموعات الهيدروكسيل ، تسمى : الأسطح القطبية ، ويطلق عليها أيضا مصطلح Hydrophilic أى الأسطح المحبة للماء Water loving وذلك لأنها تجذب جزيئات الماء . انظر الشكل رقم (٣).

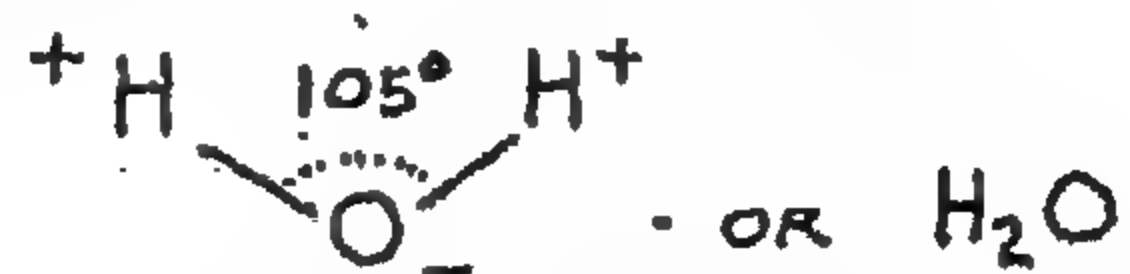
وتتولد قوة الجذب الكهربائية ، أو ما يعرف بالمجال الكهربى Electric field بواسطة ذرة الهيدروجين ، التي ترتبط مع ذرة الأوكسجين ،

التي تختلف معها في الشحنة، حيث تتكون مجموعة هيدروكسيل تسبب الترابط بين جزيء الماء نفسه، أو جزيئات الماء مع بعضها .

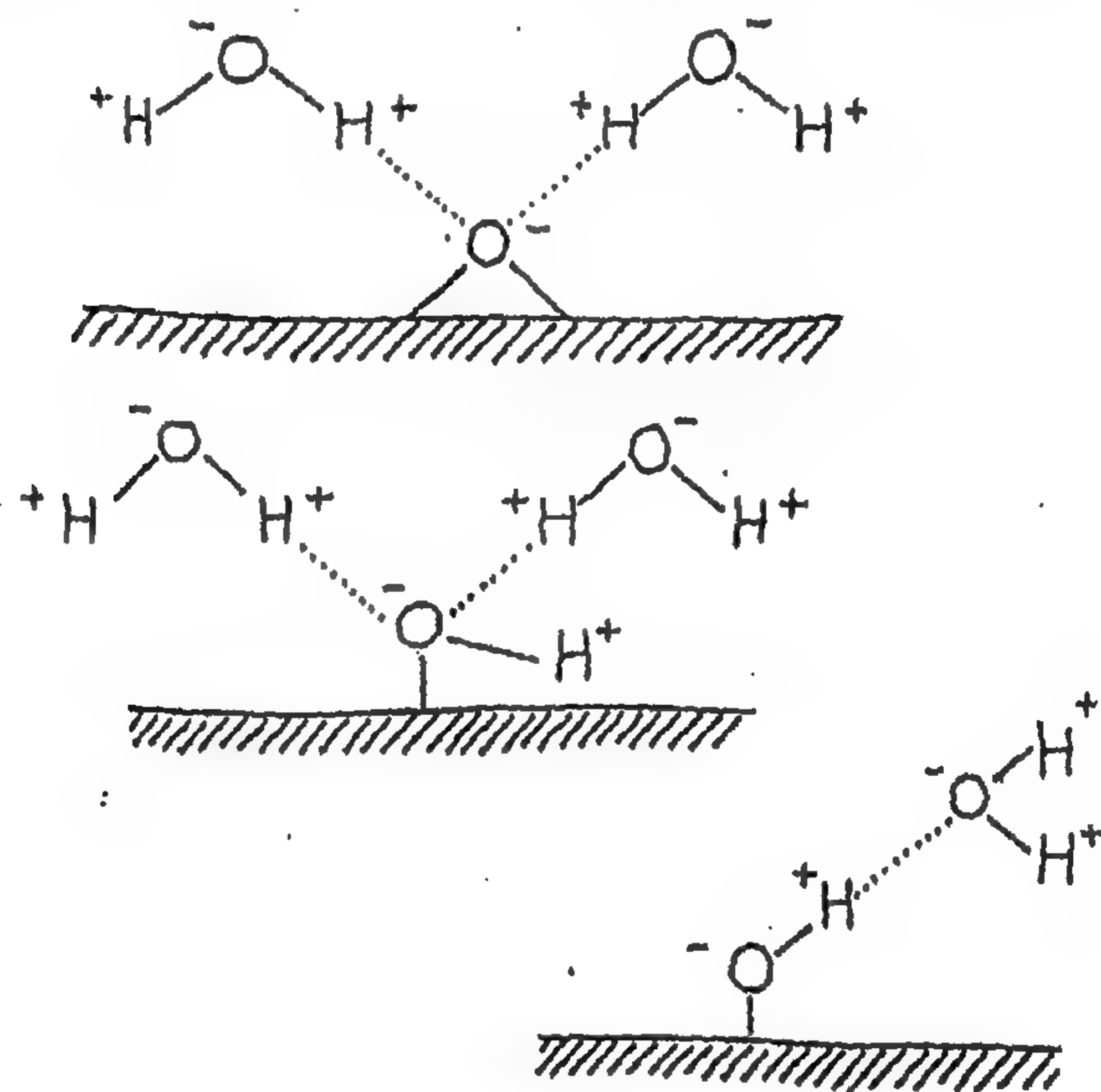
هذا الترابط المباشر الذي يتم بين الهيدروجين والأكسجين يسمى :  
الرابطة الهيدروجينية Hydrogen bond.



THE WATER MOLECULE



WATER ATTRACTION BY A HYDROPHILIC SURFACE



شكل رقم (٣) يوضح

السطح القطبي وكيفية جذب لجزيئات الماء

وبين الشكل رقم (٤) أسلوب وخطوات تكون الرابطة الهيدروجينية .



1. OXYGEN AND HYDROGEN ATOMS APPROACH EACH OTHER



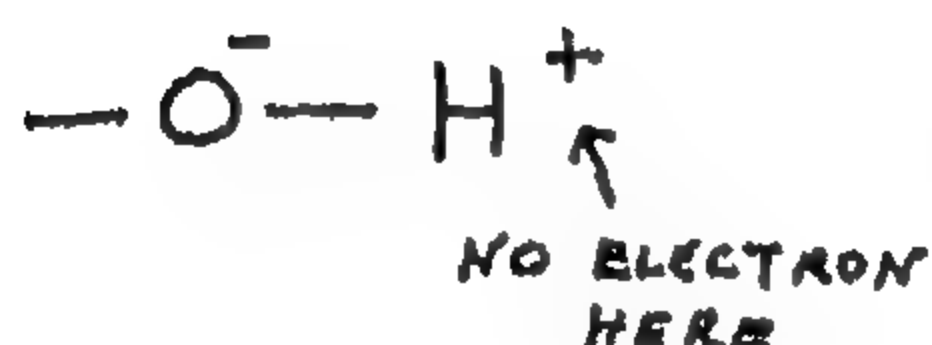
2. OXYGEN AND HYDROGEN FORM A COVALENT BOND. TWO ELECTRONS ARE SHARED



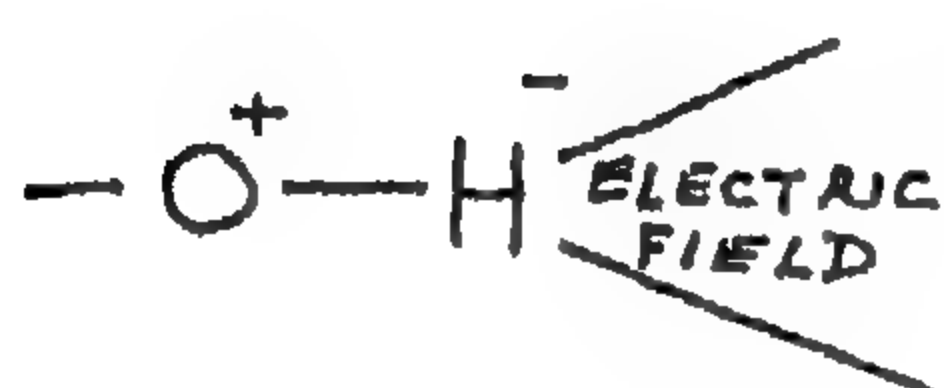
3. THE SHARED ELECTRONS ARE ATTRACTED BY THE OXYGEN MORE THAN BY THE HYDROGEN



4. A NEGATIVE CHARGE APPEARS ON THE OXYGEN AND A POSITIVE CHARGE ON THE HYDROGEN

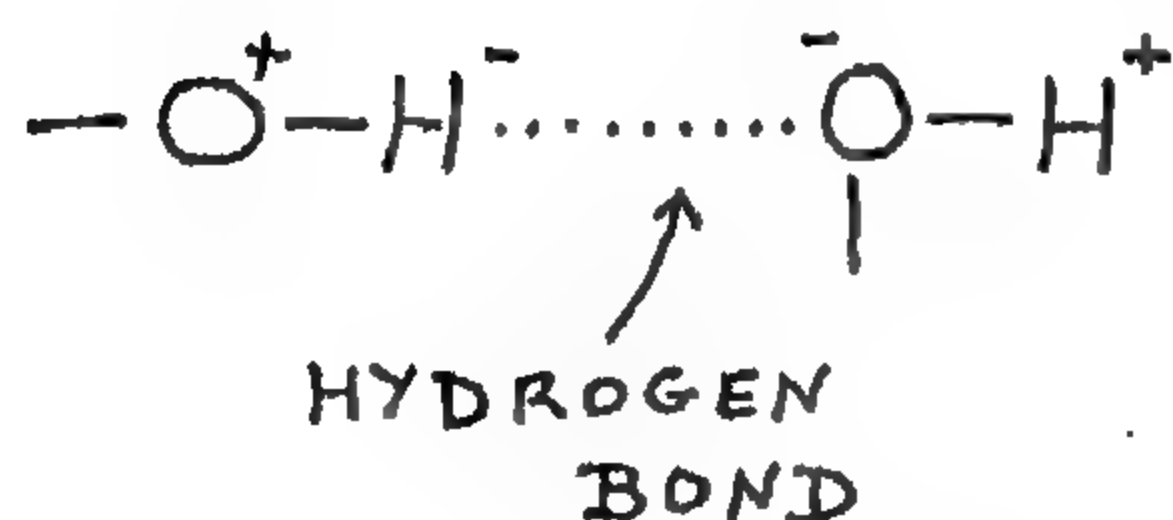


5. AS THE HYDROGEN ATOM OWNS ONE ELECTRON ONLY THE SIDE FAR FROM THE OXYGEN IS FREE FROM ELECTRONS (UNSHIELDED).



6. THIS GIVES RISE TO A STRONG ATTRACTION FOR NEGATIVE CHARGES IN THAT REGION OF SPACE

7. A HYDROGEN BOND IS FORMED WITH ANOTHER HYDROXYL GROUP



شكل رقم (٤) يوضح

أسلوب تكون الرابطة الهيدروجينية

وعادة كل ذرة أكسجين تكون رابطتين مع الهيدروجين إلى جانب  
تكون رابطتين كيميائيتين في نفس الوقت ، وكل أربعة روابط تكون شكل  
رباعي يترتب حول ذرة الأكسجين .

وكل ذرة هيدروجين تستطيع تكوين رابطة هيدروجينية واحدة في  
الاتجاه المضاد لرابطتها الكيميائية .

والرابطة الهيدروجينية أضعف من الرابطة الكيميائية العادية، والتي  
تظل قوية ، وتحتاج إلى كمية مناسبة من الطاقة لكي يتم تكسيرها، هذه الطاقة  
قد تصل إلى ٦٠٠٠٠ جول / ١٨ جم ماء . أى مايعادل واحد وات ساعة /  
جرام ماء One watt- Hour/gram of water.

– كيفية امتزاز الماء على السطح القطبي :

تمتز جزيئات الماء على السطح بواسطة ذرة الاكسجين التي تدير  
نفسها ناحية الجانب ناحية الجانب الموجب من السطح نفسه .

( انظر الشكل رقم ٣ ).

وفى حالة الأسطح القطبية فإن مجموعات الهيدروكسيل ربما تجذب  
كل من أيون الهيدروجين الموجب ، وأيون الأكسجين السالب ، لكن ارتباط  
جزئ الماء فى هذه الحالة يظل منتشرًا ومستمرًا من الجانب الموجب ، أى  
من ناحية أيون الهيدروجين ، وذلك لأن الأكسجين يستطيع تكوين رابطتين  
هيدروجينيتين Two Hydrogen bonds فى حين أن الهيدروجين يكون  
رابطة واحدة فقط .



فى هذه الظروف يتكون نوع من المجال الكهربى المزدوج يتكون من طبقتين كهربيتين .. طبقة موجبة فى الماء الممتز ، وطبقة سالبة على سطح الجامد أو المادة الصلبة The solid surface .

ولو طبقنا نظرية الجهد الكهربى An electric potential على المواد المسامية القطبية عند بللها أو ترطيبها بالماء بأن الماء سوف يتجه نحو القطب السالب The negative electrode " وهذا يعنى أن الماء الممتز فوق سطح الجوامد المنفذة يكون ذو شحنة موجبة " و بهذه الطريقة يمكن ازاحة كمية كبيرة من الماء.

وعلى أية حال ، ليس من الواضح أن الطبقة المزدوجة نفسها هى التى تكون ممتزة لجزيئات الماء التى تستطيع أن تتحرك فى إتجاه القطب السالب ، إلا أن هذه الجزيئات تبدو كطبقة ذات شحنة موجبة تتجه ناحية السطح الجامد، بينما جانبها السالب يكون متصلا بجزيئات ماء أخرى . انظر الشكل رقم (٣).

أیضا يمكن تفسير الحركة الكهربائية للماء Electrokinetic عن طريق تتبع حركة الأيونات السالبة والموجبة الموجودة فى الماء.

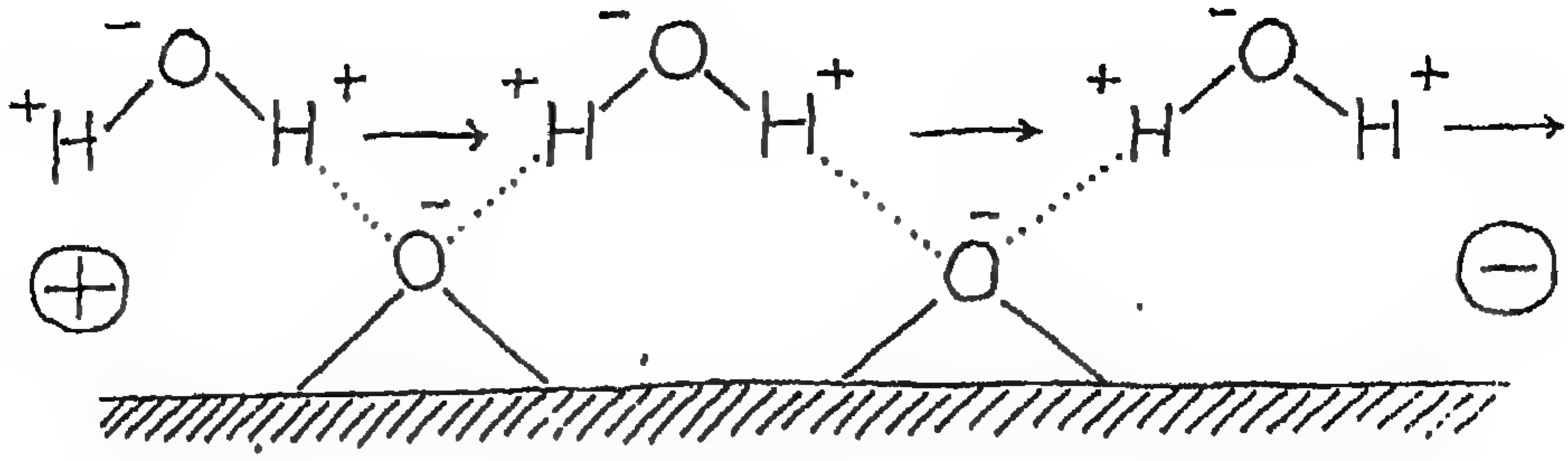
على سبيل المثال : تنشأ شحنة كهربية حول الذرات أو المجموعات الذرية ، نتيجة تحلل الأملاح - مثل: أملاح الكلوريدات التى تتحلل إلى أيون كلور سالب وإيون المعدن الموجب - أو بواسطة تحلل الماء نفسه إلى أيون هيدروجين موجب ، وإيون هيدروكسيل سالب . والأيونات الموجبة تكون أقل من الأيونات السالبة ، لذلك يكون لديها القدرة على جذب عدد أكبر من جزيئات الماء ، نظرا لأنها تكون ذات شحنة كهربية عالية .

من أجل ذلك فإن الأيونات الموجبة تكون قادرة على حمل عدد أكبر من جزيئات الماء ، خاصة عندما يبدأ المجال الكهربى فى دفع الأيونات تجاه القطب الكهربى فى نقط متضادة .

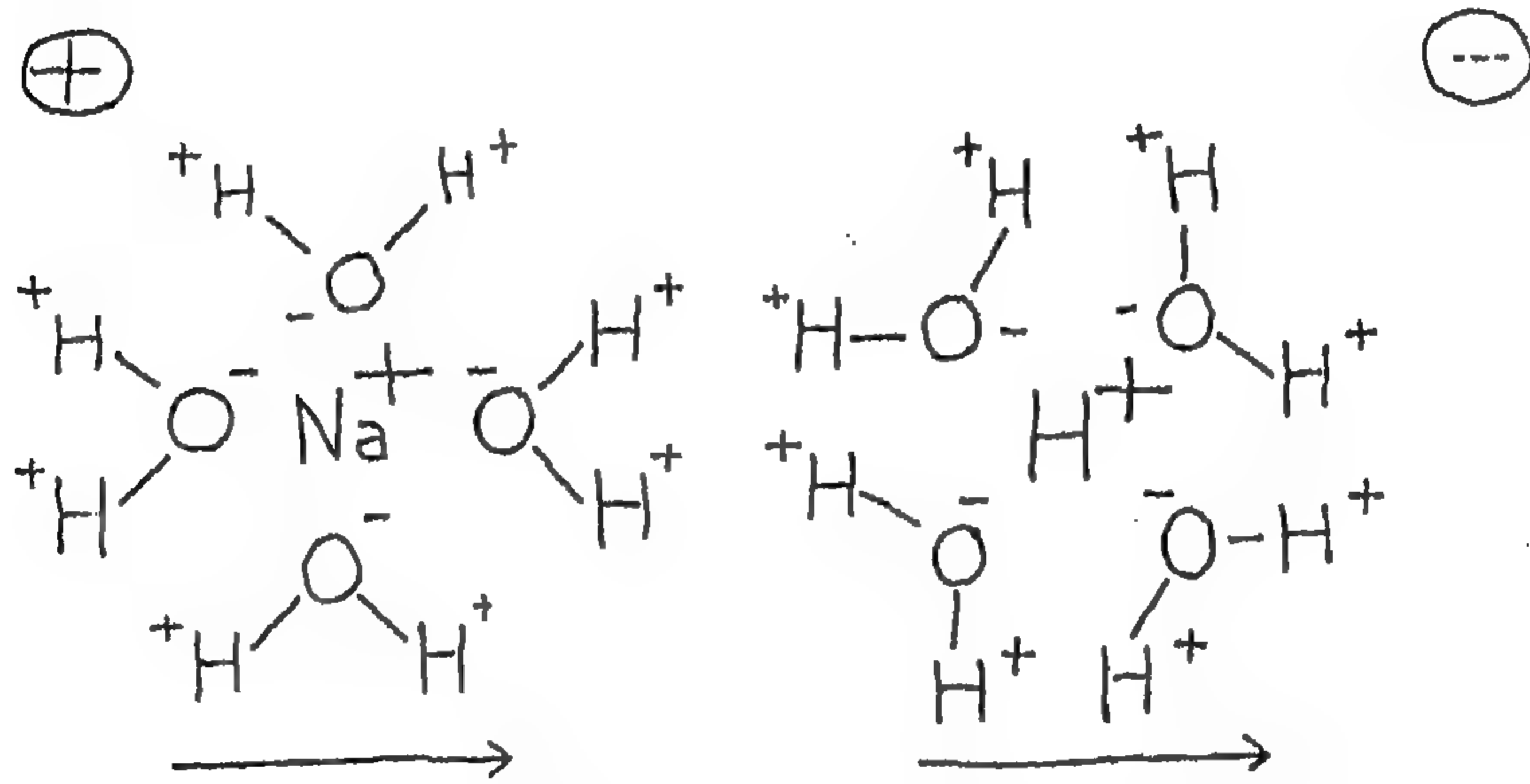
أيضا فإن الماء يبدو متجها نحو القطب الكهربى السالب الذى يستطيع حمل كمية زياة من الماء بواسطة الأيونات الموجبة أكثر من تلك التى تحملها الأيونات السالبة . انظر الشكل رقم (٥) .

ومهما يكن فإن كمية الطاقة اللازمة لتحلل الماء ، وميكانيكية هذا التحلل داخل مسام المواد القطبية قد لا تكون كبيرة فى كثير من الظروف ، وتحت هذه الظروف فإن جزيئات الماء التى تتحلل تستبدل بأخرى جديدة ، حيث تتكون فى المجال رابطتين هيدروجينيتين جديدتين ، وفى نفس الوقت تتولد الطاقة اللازمة لكسر الرابطتين السابقتين .

وتتطلب حركة الماء فى مسام المواد الجامدة المنفذة بعض الطاقة ، لتكسر حاجز الجهد الكامن الذى يحتمل وجوده بين أى موقعين ثابتين لجزيئات الماء بالقرب من السطح الجامد، هذه الطاقة لا تتعدى واحد وات ساعة / جم ماء وإذا لم تزرح جزيئات الماء الجديدة ، الجزيئات القديمة فإن كل الطاقة اللازمة لكسر الروابط الهيدروجينية تكون مطلوبة فعليا لحركة المياه داخل المسام .



MOVEMENT OF POSITIVE IONS IN AN  
ELECTRIC FIELD



HYDRATION WATER IS CARRIED ALONG

NEGATIVE IONS ARE LARGER AND  
CARRY LESS WATER MOLECULES

شكل رقم (٥) يوضح  
حركة الأيونات الموجبة في المجال الكهربى  
ونموذج لتحلل هيدروكسيد الصوديوم

## ١-٢ - انتشار الماء فى مسام المواد القطبية :

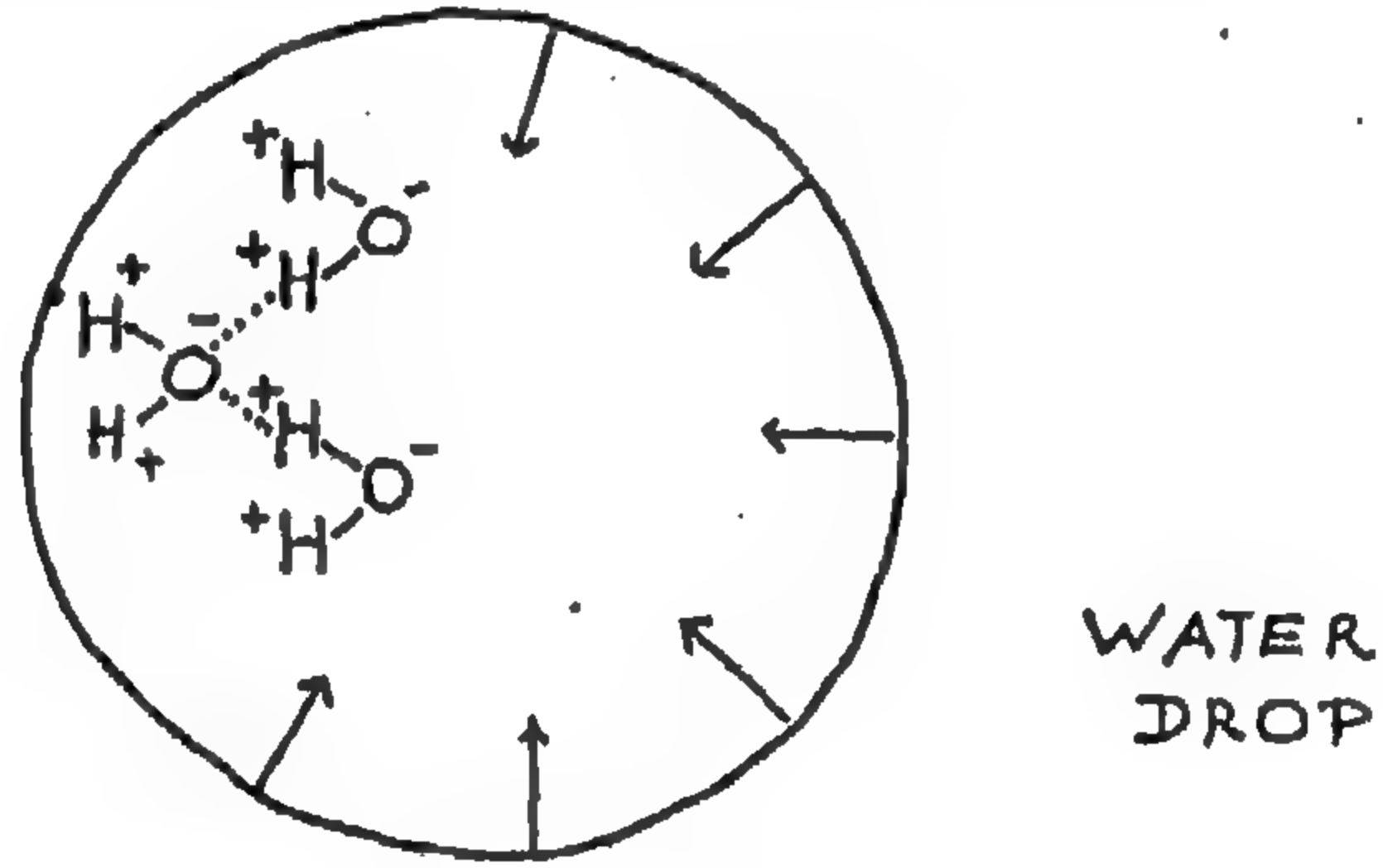
### Water distribution in hydrophilic pores:

#### - قطرة الماء Water drop:

كل جزيئات الماء على سطح قطرة الماء تتجذب نحو الداخل - أى نحو مركز قطرة الماء - بواسطة الروابط الهيدروجينية ، التى تربط أيضا جزيئات الماء ببعضها داخل قطرة الماء .

وتكون النتيجة وجود ميل نحو تقليل مساحة السطح ليأخذ الشكل الكروى والذى تظهر عليه نقطة الماء . انظر الشكل رقم (٦)

وهذه الحالة تسمى : التوتر السطحي Surface tension



شكل رقم (٦) يوضح

نقطة المياه وقوى التجاذب بين جزيئاتها

#### - قطرة الماء على السطح القطبى الجامد :

### Water drop on the surface of Hydrophilic solid

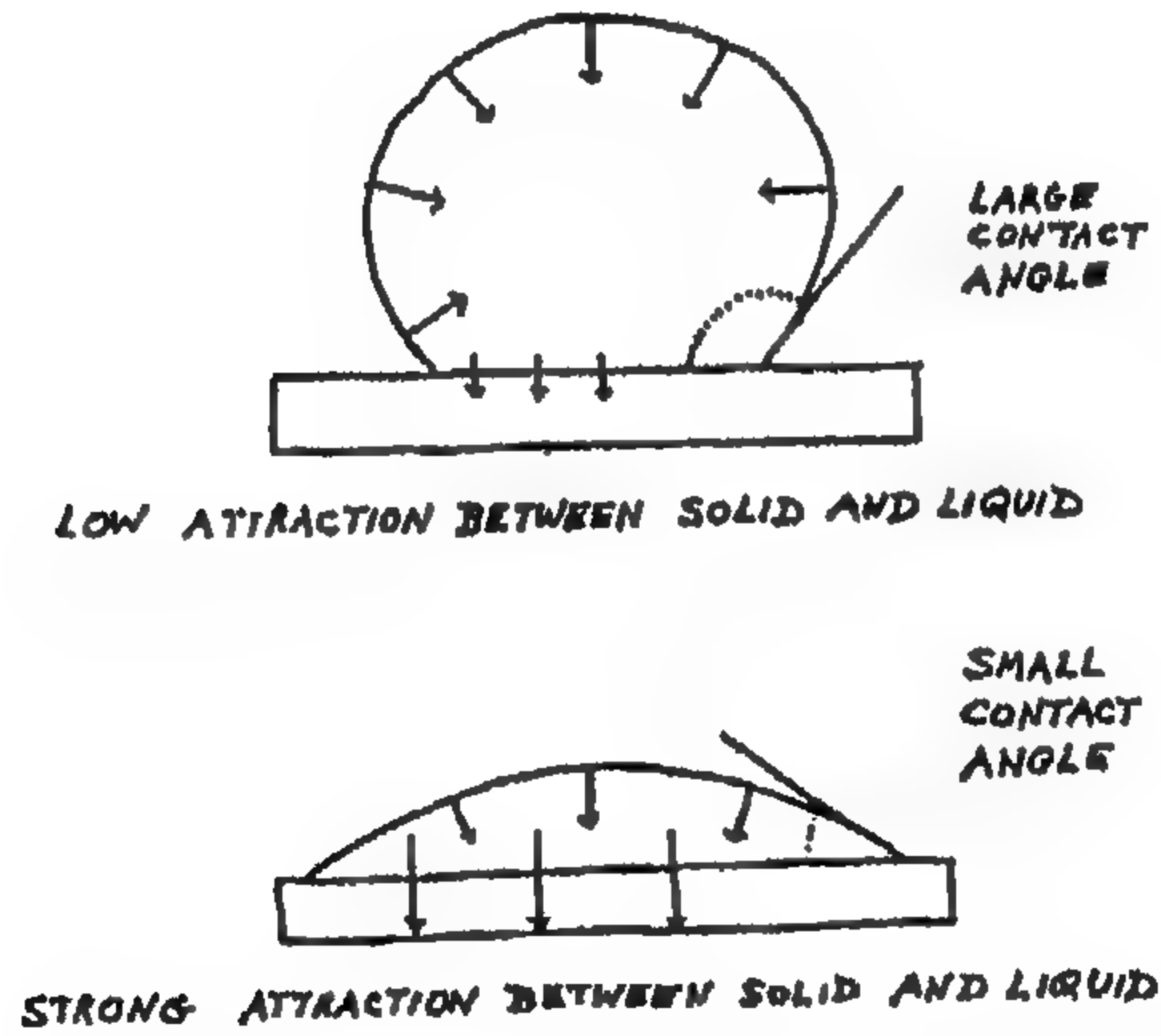
يتحدد شكل قطرة الماء على أسطح المواد القطبية الجامدة ، عن طريق قوى التجاذب بين جزيئات الماء والسطح الجامد.

هذه القوى يمكن معرفتها عن طريق قياس زاوية التماس  
Contact Angle بين قطرة الماء و سطح الجامد.

"وتعرف زاوية التماس : بأنها الزاوية الواقعة في باطن السائل ،  
والمحصورة بين اتجاه المماس لسطح السائل و سطح المادة الجامدة عند نقطة  
كلامهما".

في السوائل القطبية مثل : الماء ، تكون زاوية التماس بينها وبين  
السطح الحامد كبيرة ، مما يدل على أن قوة التجاذب بين الماء والسطح تكون  
صغيرة.

على العكس من ذلك إذا كانت زاوية التماس صغيرة ، فإن قوى  
التجاذب بين الماء والسطح تكون قوية . ( انظر الشكل رقم ٧ ).



شكل رقم (٧) يوضح  
قوى التجاذب بين الجامد والسائل القطبي

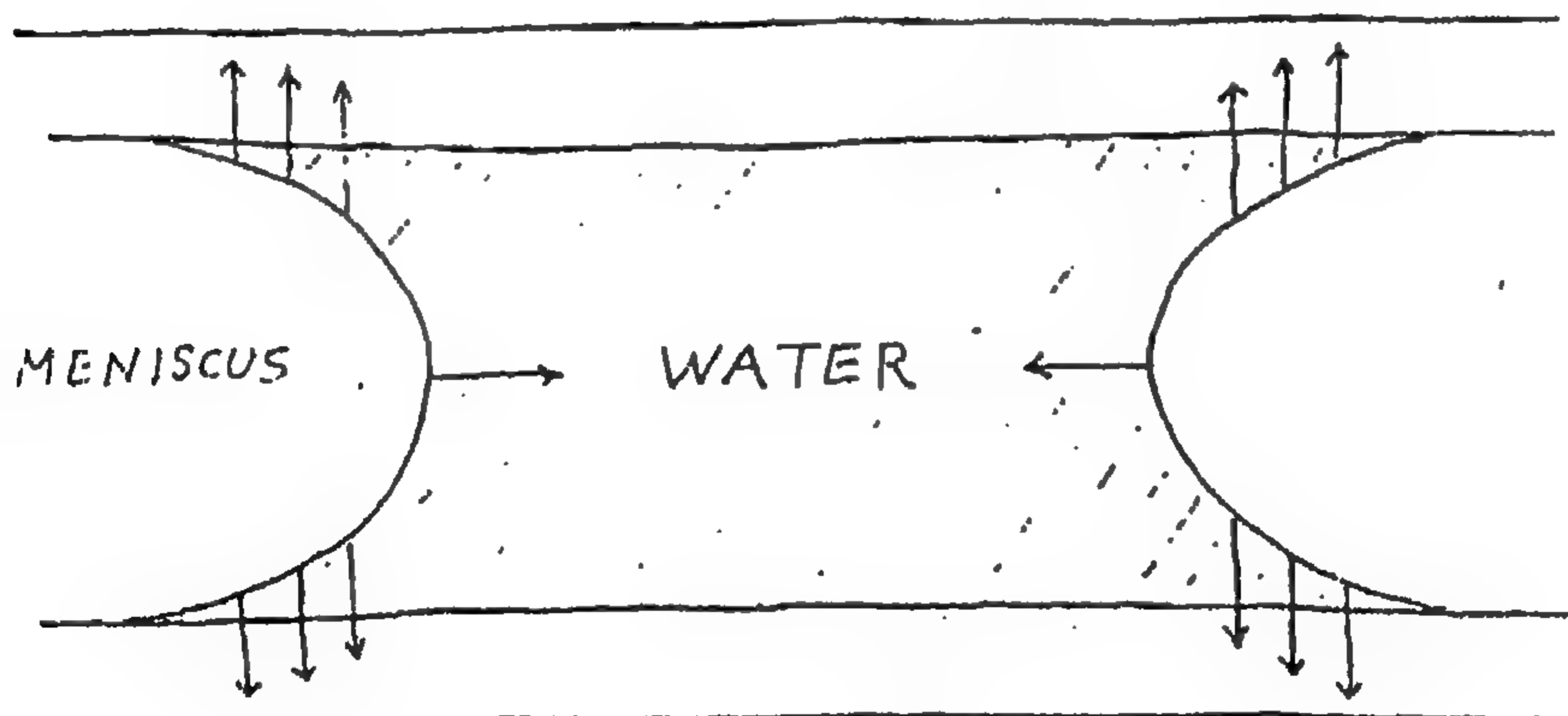
فى السوائل غير القطبية .. دائما ماتكون زاوية التماس بينها وبين أسطح المواد الجامدة صغيرة، وذلك لايرجع إلى قوة جذب الأسطح الجامدة لقطرات السائل، بل يرجع إلى صغر قوى التجاذب الداخلى بين الجزيئات فى السائل نفسه.

أى أن قوى التوتر السطحى للسائل تكون ضعيفة  
Low surface tension.

- شكل المياه داخل الجوامد القطبية المنفذة

### Water inside a Hydrophilic porous solid

- يظهر الشكل الهلالى Meniscus لسطح الماء داخل المسام الصغيرة للمواد المنفذة ، عن طريق التجاذب الذى يحدث بين سطح الماء وسطح المسام الدقيقة وفى نفس الوقت يحدث تجاذب فى اتجاه المركز بين جزيئات الماء نفسه. كما هو موضح فى الشكل رقم (٨).



شكل (٨) يوضح  
مظهر المياه داخل مسام الجوامد ال  
منفذة



" وحيث أن جزئ الماء فى باطن السائل يقع تحت تأثير قوى جذب من جميع الاتجاهات ويكون روابط مع الجزيئات المجاورة له أكثر من تلك التى يكونها جزئ آخر بالقرب من سطح السائل. لذلك نجد أن التوتر السطحي فى السوائل يعمل على انقاص مساحة سطح السائل المعرض للهواء".

#### -- المص الشعري Capillary suction:

تسمى المسام الصغيرة جداً أو الدقيقة : مسام شعرية Capillary pores أو شعريات Capillaries وأصلها كلمة دقيقة تعنى : شبيه الشعر Har-like.

" وتعرف الخاصية الشعرية Capillarity بأنها حركة المياه داخل الجوامد المنفذة".

والماء يتحرك داخل المسام الدقيقة لو قوة جذب سطح المسام لجزيئات الماء - أى قوى التلاصق - أكبر من قوى التجاذب بين جزيئات الماء نفسها - أى قوى التماسك .

" ويلاحظ أن قوى التماسك تعمل ضد قوى التلاصق"

كذلك فإن حجم قوة المص للسوائل يعتمد على :

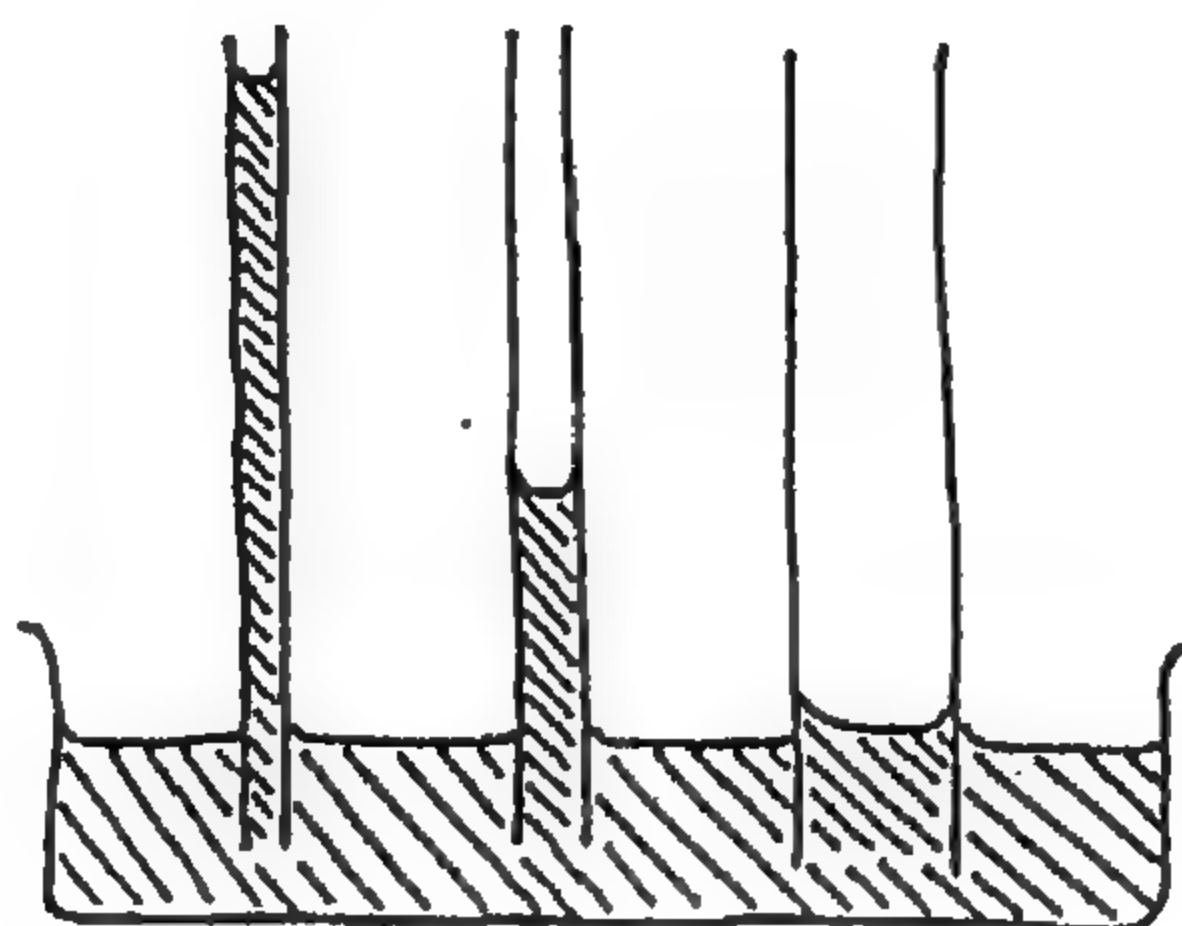
- طبيعة السطح الماص The nature of the surface

-- قطر المسامة The diameter of the pore

وعندما يقل قطر المسامه تزداد قوة المص الشعري ، أى أن المياه ترتفع داخل المسام بسرعة عكس الجاذبية الأرضية . وذلك بسبب زيادة قوة الجاذبية الشعرية The capillary force عن قوة الجاذبية الأرضية

The gravity force وتسمى ظاهرة ارتفاع المياه داخل المسام الدقيقة فى المواد المنفذة بظاهرة الارتفاع الشعري Capillary rise.

CAPILLARY  
RISE



شكل رقم (٩) يوضح  
الخاصية الشعرية

" وفى حالة تساوى القوتين - القوة الشعرية وقوة الجاذبية الأرضية - يتوقف الارتفاع الشعري ."

ولو أن المص الشعري للماء غير متعادل Not counter balance فى وجود ميكانيكيات أخرى .. مثل: بخار الماء ، داخل مسام مواد البناء المنفذة ، فإن الارتفاع الشعري ضد الجاذبية الأرضية قد يصل إلى عدة مترات .

من أجل ذلك فإن الارتفاع الشعري يعتبر ظاهرة طبيعية Spontaneous Phenomenon تحدث بسبب جذب الرابطة الهيدروجينية للماء ناحية بعض الأسطح .

وليس من الضروري أن نستعين بالطاقة الكامنة الكهربائية Electrical potential لكى نفسر حدوث ظاهرة الارتفاع لبخار الماء داخل

مسام مواد البناء . على الرغم من أن التطبيقات العملية للطاقة الكامنة تفسر لنا أسباب الحركات الأخرى لجزيئات الماء.

إلا أنه يجب أن نقرر أن ثمة كوامن مختلفة لها صلة بالتربة، ويمكن قياسها في مسام المواد بعدما ترتفع المياه داخلها من التربة .

إلى جانب هذه الحقيقة فإن مثل هذه القياسات تكون قليلة الفائدة أو عديمة الجدوى .. مثل: إختلاف الكوامن التي يحتمل أن تعارض خاصية الارتفاع الشعري أكثر من تساندها .. وذلك طبقاً لقاعدة أو مبدأ لوشاتيليه Le chatelier's principle " عندما يؤثر عامل من العوامل في نظام متزن، يقوم هذا النظام بتعديل نفسه في الاتجاه الذي يمتص هذا التأثير".

– انتشار الماء في مسام الجوامد القطبية :

#### Water distribution in porous Hydrophilic solid

لو أن كمية المياه الموجودة في مسام الجوامد غير كافية لملئها تماماً ، فإن الماء ينتشر في مثل هذه الحالة حتى تصل طاقته إلى أقل حالة من حالات الطاقة The lowes energy state .

وفي هذه الحالة يحتمل أنها تستفيد استفادة كاملة من قوى التجاذب ، لكن قد يحدث تأثير ممزق لهذه القوى The distructive effect بسبب الحرارة التي يمكن أن تساعد على وجود حالة من الفوضى ، أو عدم النظام بين جزيئات الماء .

ولكن نوضح عملية انتشار الماء في مسام الجوامد المنفذة فإننا نضع طريقة ملء المسام تدريجياً على شكل رسم تخطيطي يبين تزايد المحتوى المائي في أربع مستويات .

- المستوى الأول : المادة جافة تماما ، وكل المسام خالية من الماء.

- المستوى الثانى :

- المسام الشعرية تمتلئ بالماء.

- أسطح المسام الكبيرة تظل جافة.

- احتمال انتشار الماء وامتصاصه عند قواعد هذه المسام

وذلك يحدث طبقا لقطر كل واحد من هذه المسام .

المستوى الثالث :

- كل المسام الشعرية تملأ بالماء .

- تغطي أسطح الماء الكبيرة بطبقة رقيقة من الماء.

المستوى الرابع :

- كل المسام الشعرية والمسام الكبيرة تملأ بالماء .

والشكل رقم (١٠) يوضح المستويات الأربع السابقة .

ويجب ملاحظة أنه :

- فى المستوى الثانى تكون المسام أقرب للجفاف ، فى حين أنه فى المستوى

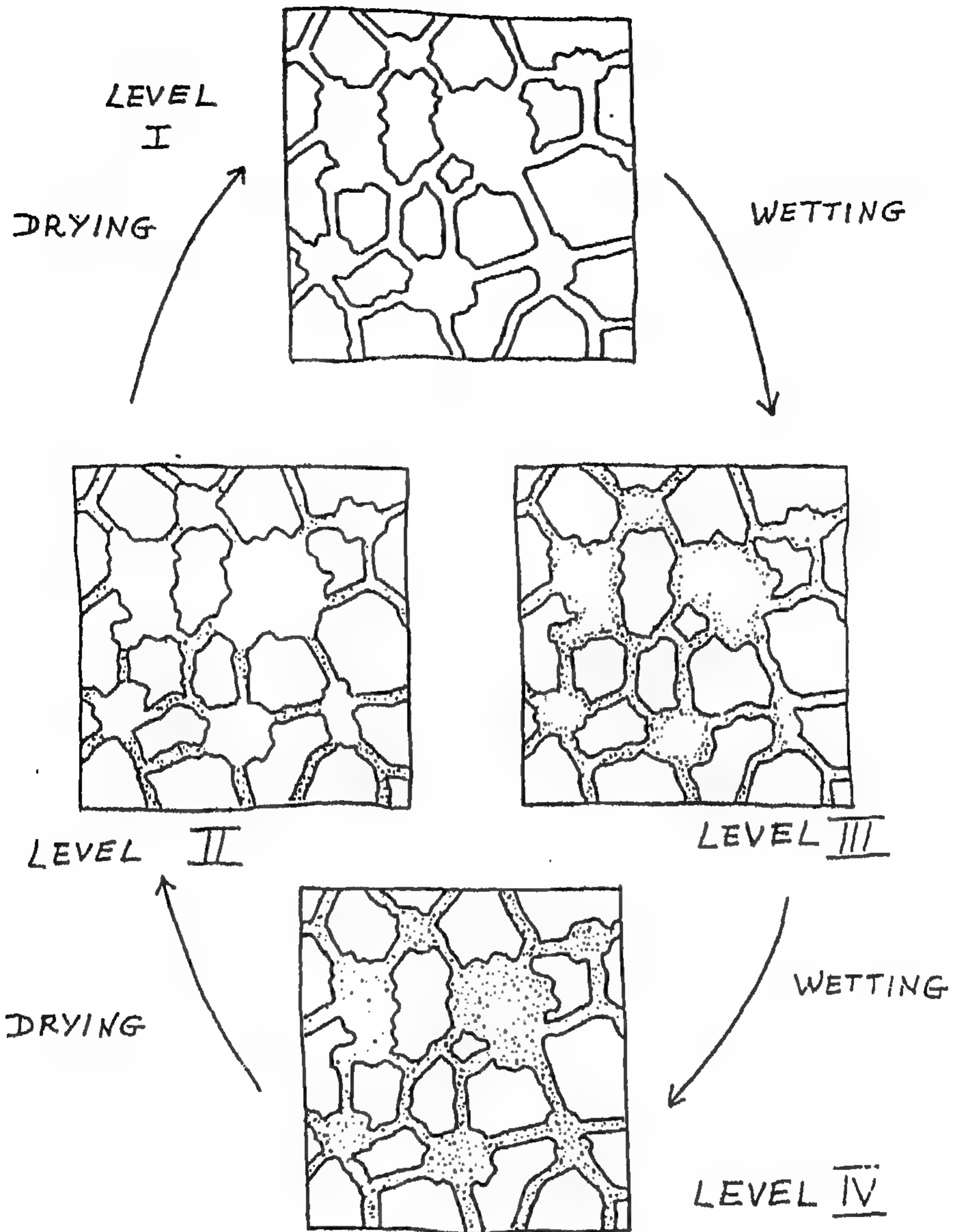
الثالث تكون المسام أقرب للبلل .

- نموذج الجفاف والبلل فى كل من المستوى الثانى والثالث يمكن أن يوجد

فى كل المستويات .

وبناء عليه فإن التقسيم السابق لحالات بلل وجفاف المواد المسامية

عن طريق الانتشار نموذج لحاله مثاليه قد لاتوجد هكذا فى الواقع ."



شكل رقم (١٠) يوضح

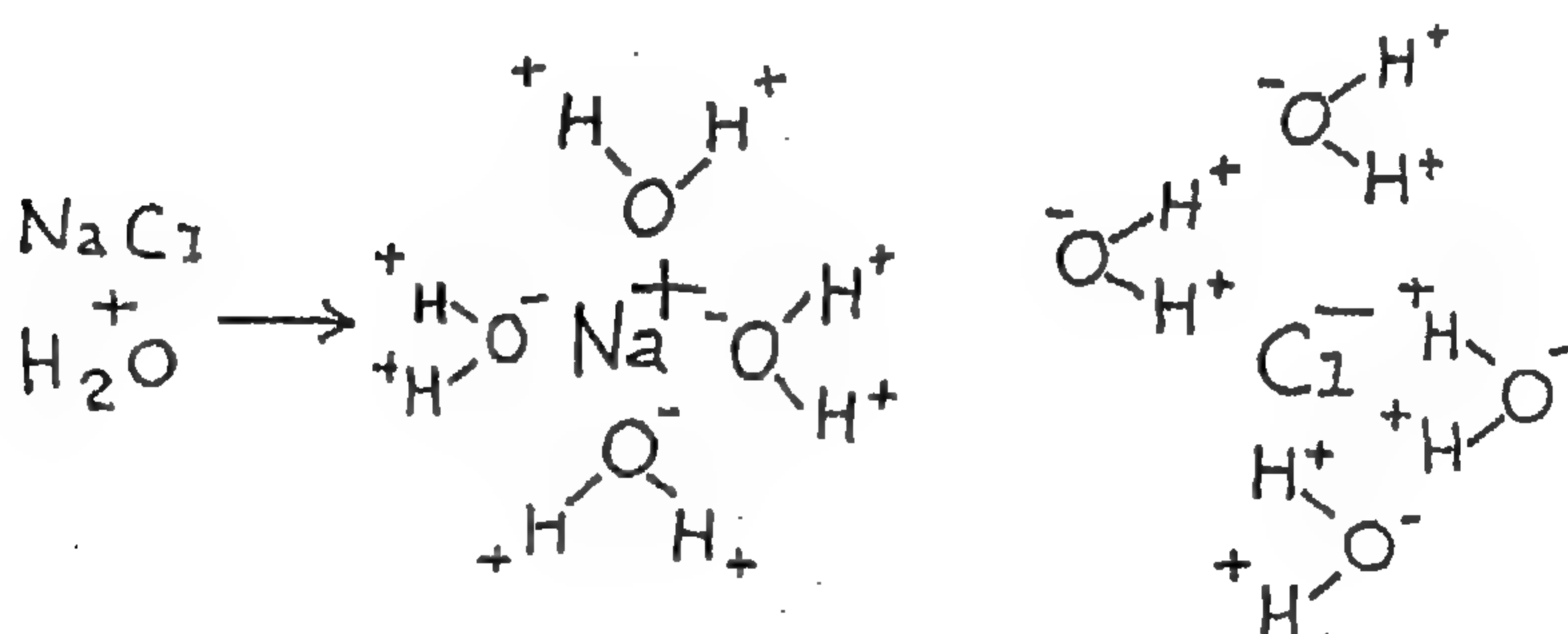
مستويات انتشار الماء في الجوامد المنفذة القطبية

## - محتوى الماء الحرج :The critical water content

ذكر قوس Vos وآخرين، أنه إذا زاد المحتوى المائي للمسام عن المحتوى المائي المناظر للمستوى الثالث ، فإن الماء سوف ينتقل في الصورة السائلة .

لذلك فإن المستوى الثالث يعرف بمحتوى الماء الحرج The critical water content ويمكن أن نتعرف على محتوى الماء الحرج من خلال طبيعة المادة والنظام الهندسي لمسامها The geometry of the material porous system ومع ذلك فإن وجود أملاح ذائبة في الماء يزيد إلى حد كبير محتوى الماء الحرج ، وذلك بسبب تميز الأملاح والخاصة الهيجروسكوبية لأيونات الأملاح .

Hydration and Hygroscopicity of the salt ions.



HYDRATION OF IONS

شكل رقم (١١) يوضح

تميز الأملاح



### ١-٣- حركة المياه في الحالة السائلة :

#### Movement of water in the liquid phase

توجد العديد من القوى التي تستطيع تحريك الماء في الحالة السائلة داخل مسام المواد الجامدة المنفذة .

وفيما يلي نذكر هذه القوى :

#### أ- المص Suction:

يحدث المص عندما تنتقل المياه داخل مواد البناء المسامية من المنطقة التي بها المحتوى المائي أعلى من المستوى الثالث ، للمنطقة التي بها المحتوى المائي أقل من المستوى الثالث .

" أى أن المص هو حركة المياه من المنطقة التي إمتلأت فيها المسام الشعرية بالماء ، وأيضا بللت أسطح المسام الواسعة به ، إلى المنطقة التي إمتلأت فيها المسام الشعرية بالماء وأسطح المسام الواسعة مازالت جافة " .

مثال ذلك : بلل المادة الصلبة الجافة عندما يتسلل الماء إلى داخل أحد جوانبها عند إتصاله بالمادة الرطبة أو المبللة ، وبعدئذ ينتقل إلى المناطق الجافة.

" أما قوى المص Suction forces فهي القوى التي تساعد الماء على الانتقال أو التحرك من المناطق المشبعة به إلى المناطق الجافة أو قليلة الماء " .

#### ب - الانتشار Diffusion:

يحدث الانتشار عندما يكون المحتوى المائي أعلى من المستوى الثالث على جانبي الحركة On both sides of the Movement بمعنى



تحرك المياه من المنطقة ذات المحتوى المائى الأعلى  
Higher water content إلى المنطقة ذات المحتوى المائى الأقل  
• Lower water content

" أما قوى الانتشار Diffusion forces فهي القوى التى تساعد الماء  
على التغلغل والانتشار داخل المواد المسامية الجافة أو شبه الجافة".

#### ج - الأسموزيه Osmosis:

الأملاح القابلة للذوبان فى الماء ، تذوب وتفكك إلى أيونات  
Dissociated into ions وهذه الأيونات تكون ذرات ذات شحنة كهربية  
Electrically charged atoms .

والملاحظ أن كل الأيونات تجذب جزيئات الماء بواسطة قوى كهربية  
Electrical forces وتسمى هذه العملية .. عملية التميؤ Hydration ونتيجة  
لذلك فإن الماء يتحرك من المناطق التى تحتوى على أيونات قليلة - تركيز  
المالح فيها ضعيف - إلى المناطق التى تحتوى على أيونات كثيرة - أى  
تركيز الملح فيها عال .

#### د - الحركة الكهربائية Electrokinetics:

تم توضيح ذلك مسبقا - يرجع ص - حيث يتجه الماء ناحية  
القطب السالب ، داخل الجامد المنفذ وذلك يتوقف عل المجال الكهربى  
Electrical field وفى حالة تفكك الأملاح تكون أيونات، هذه الأيونات تتجه  
ناحية القطب الذى يخالف شحنتها الكهربائية حاملة معها هيدروجين الماء.

هذه الظاهرة تسمى : الأسموزيه الكهربيه Electro-Osmosis.

## هـ - الحرارة Heat:

فى حالة بلل الجوامد المسامية فإن الماء يتحرك من المناطق الساخنة Warmer region فى إتجاه المناطق الأبرد منها Colder region أو الأقل سخونة مع ملاحظة أن ميكانيكية المص The suction Mechanism تتطلب وجود مساحات جافة وأخرى مبللة.

وتعتمد كل الميكانيكيات التى تؤدى إلى حركة الماء فى الصورة السائلة داخل مسام الجوامد المنفذة ، على استمرار وجود طبقة رقيقة من الماء داخل هذه المسام تتغذى من خلال انتقال جزيئات الماء إليها.

وبناء على ذلك تحدث كل ميكانيكيات حركة المياه - الانتشار والاسموزيه والحركة الكهربائية والحرارة - فقط عندما يكون المحتوى المائى للمسام ، أعلى من كمية المياه المطلوبة لملء المسام الشعريه ، ولتغطية أسطح المسام الواسعة.

أى ينتقل الماء داخل مسام الجوامد المنفذة عندما يصل محتواها المائى إلى محتوى الماء الحر أو إلى المستوى الثالث .

### ١-٤ حركة المياه فى الحالة الغازية :

#### Movement of water in the vapour phase

### أ - التكاثف والامتزاز Condensation & Adsorption:

قد تنتقل جزيئات الماء إلى سطح الجوامد المسامية أو المنفذة وهى فى الحالة الغازية - بخار مثلاً - حيث تتخللها . وتسرّب إلى داخلها من خلال المسام وذلك فى حالتى التكاثف والامتزاز .

### - التكاثف Condensation :

يحدث التكاثف عندما تكون درجة حرارة السطح المعرض للهواء أقل من درجة حرارة نقطة الندى The dew-point temperature وبما أن جزيئات الماء في الحالة الغازية ، توجد حرة في الهواء فإنه عندما يصطدم بسطح بارد .. أو تنخفض درجة حرارة الجو . تصبح كمية بخار الماء في الهواء كافية لتشبعه ، وتقل قدرة الهواء على حمل هذا البخار ، فيبدأ في التكثف.

وعادة يحدث أن تتحد جزيئات الماء مع بعضها على سطح الجامد نفسه، لتكون طبقة رقيقة من الماء في الحالة السائلة A film of liquid water ويتحرك الماء بعد ذلك أو ينتقل إلى داخل المسام بواسطة أحد الميكانيكيات السابق شرحها .

### - التكاثف البيني Interstitial condensation :

من الممكن أن تكون درجة حرارة سطح الجوامد المنفذة المعرض للهواء أعلى من درجة حرارة نقطة الندى .. لكن درجة الحرارة داخل هذه المواد أقل من درجة حرارة نقطة الندى ، في مثل هذه الحالة ، فإن جزيئات الماء تتكثف داخل مسام هذه المواد .

" وهذا يعنى أن الماء في صورة بخار يتسرب من السطح إلى داخل المواد المنفذة عن طريق المسام .. ويتكثف في المسام بسبب برودة الداخل".

### - انتشار البخار Vapour diffusion :

في الجوامد المنفذة الجافة نسبيا ، أى ذات المحتوى المائى الأقل من المستوى الثالث ، ينتقل الماء من المناطق التى تحتوى على عدد كبير من

جزيئات الماء عالقة في الهواء إلى المناطق التي تحتوى على عدد أقل من جزيئات الماء عالقة في الهواء.

بمعنى أن الماء ينتقل في صورة بخار من المناطق التي يكون فيها ضغط بخار الماء عال High vapour pressure إلى المناطق التي يكون فيها ضغط بخار الماء أقل Lower vapour pressure.

ونتيجة لذلك فمن الممكن أن يحدث بخر للماء في بعض المسام وفي مسام أخرى يحدث تكاثف لبخار الماء .

وتستطيع القول بأن حركة المياه في الحالة الغازية ، أى في صورة بخار ، تحدث عندما يستحيل إنتقال المياه في الحالة السائلة بآليات أخرى لكن لا يتم الانتقال بدرجة كافية Less efficient.

#### - الخاصية الهيجروسكوبية Hygroscopicity:

" الخاصية الهيجروسكوبية هي : قدرة المادة على مص الماء".

ومن المعروف أن أسطح الجوامد القطبية تستطيع جذب جزيئات الماء التي تمتز على السطح Adsorped on the surface حتى ولو كانت درجة حرارة هذا السطح أعلى من درجة حرارة نقطة الندى The dew- point temperature of the air.

ويحدث الامتزاز الهيجروسكوبى Hygroscopic adsorption عندما تكون الرطوبة النسبية في الهواء أعلى من القيمة الحدية لها A limiting value والتي تعتمد على طبيعة المادة ، وكذلك قطر المسام.

فالمسام الصغيرة تسهل عملية الامتزاز الهيجروسكوبى، وربما تمتلىء هذه المسام بالماء ، إذا كان معدل الرطوبة النسبية أقل من ١٠٠٪.

وتتميز الأملاح القابلة للإذابة في الماء بالخاصية الهيجروسكوبية، إذ يمكنها إمتزاز كميات كبيرة من الماء عندما يكون معدل الرطوبة النسبية أقل من ١٠٠٪.

وتتميز الأملاح القابلة للإذابة في الماء بالخاصية الهيجروسكوبية ، إذ يمكنها إمتزاز كميات كبيرة من الماء عندما يكون معدل الرطوبة النسبية أقل من ١٠٠٪.

على سبيل المثال : ملح كلوريد الصوديوم إذا ترك معرضا للهواء ، فإنه يمتز الماء منه ، إذا كان معدل الرطوبة النسبية به أعلى من ٧٥٪.

من هنا نجد أن المواد القطبية المسامية يزداد محتواها المائي عن طريق تكثف أو إمتزاز بخار الماء من الهواء ، حتى ولو لم تكن هذه المواد على اتصال مباشر بالماء ، وهو في حالته السائلة Liquid water

#### ب- البخر والامتصاص Evaporation & desorption :

وجود قوى التجاذب الكهربى بين الأسطح القطبية وجزيئات الماء ، تسهل دخول الماء إلى مسام المواد القطبية أكثر من طردها أو إزاحتها. " وهذا يعنى أن قوى البخر تعمل عكس قوى التجاذب الكهربى بين جزيئات الماء والأسطح القطبية "

#### - البخر Evaporation:

مبدئيا تحدث عملية البخر فى الطبقات الرقيقة للماء الموجودة على أسطح الجوامد المنفذة ، عندما تكون الرطوبة النسبية فى الهواء المتصل بالسطح أقل من ١٠٠٪.



وكقاعدة عندما ينخفض معدل الرطوبة النسبية فإن عملية البخر يمكن أن تتم بصورة معتدلة .

أيضا عندما يتحرك الهواء بصورة مستمرة ، فإنه يحمل جزيئات الماء، مما يساعد على تحويلها إلى الحالة الغازية أو حالة البخار The vapour phase وفى مسام المواد القطبية يحدث تشبع سريع للهواء الموجود داخل هذه المسام ، أى تصل الرطوبة النسبية إلى ١٠٠٪ وذلك بسبب ضعف دورة المياه بداخلها ، وفى نفس الوقت يصبح السطح الخارجى للجوامد المنفذة هو السطح الذى يحدث فيه عملية البخر، ويظل الماء الموجود داخل المسام باستمرار هو المصدر المغذى للسطح، لكى تستمر عملية البخر بمعدلات جيدة.

وعندما ينقص محتوى مسام الجوامد المنفذة من الماء إلى درجة أقل من المحتوى الحرج للماء داخل المسام ، فإن الماء فى الصورة السائلة لا يمكن أن يتحرك تجاه السطح .

وفى هذه الحالة تظل ميكانيكية انتشار بخار الماء Vapour diffusion Mechanism هى الميكانيكية الملائمة فى هذه المرحلة .

كما أن معدل جفاف قطرات الماء فى هذه المرحلة يظل مستمرا وبكميات كبيرة ، أما الجفاف الكامل للمواد فيبقى صعبا إلى حد ما.

## - الامتصاص De-Sorption :

عندما تكون المواد متصلة بالهواء الجوى ذو الرطوبة النسبية المنخفضة ، فإنه من الممكن حدوث عملية إمتصاص للماء الممتز على أسطح هذه المواد .

وفى هذه الحالة أيضا فإن دوره الهواء Air circulation قد تدعم إزالة المياه من على السطح .

أيضا فإن ظاهرة التخلف Hysteresis phenomena تجعل حدوث عملية الامتصاص أكثر صعوبة من تلك التى يمكن تقديرها عن طريق عملية الإمتزاز وذلك يعنى أن عملية الامتصاص تظل دائمة الحدوث فى ظل إنخفاض درجة الرطوبة النسبية بصورة أكثر من تلك التى يحدث أثناءها عملية الإمتزاز.

على سبيل المثال: ملح كلوريد الصوديوم ، يمكنه إمتزاز الماء، عندما تصل الرطوبة النسبية فى الهواء إلى ٧٥٪ فأكثر ، لكنه يبدأ فى طرد هذا الماء عندما تنخفض الرطوبة النسبية عن ٧٠٪.

والحقيقة أن عملية المص Suction وعملية الإمتزاز Adsorption تحدثان بسهولة فى المواد المسامية القطبية ، بينما تحدث عمليات الامتصاص والجفاف Drying & De-sorption ببعض الصعوبة ، وذلك فى الظروف الطبيعية The natural condition .

وفى نفس الوقت قد تتكون حالة بلل إذا التقت المواد القطبية قطرات الماء من الهواء الجوى ، وامتلات مسامها الشعريه ، وكذلك تكونت طبقة رقيقة من الماء على أسطح مسامها الواسعة أى وصلت إلى حد المستوى



الثالث من التقسيم السابق ( انظر شكل رقم ١٠ ) ففي هذه الحالة يصعب جفافها نسبيا ، إذ أن عملية الجفاف تحتاج إلى طاقة أعلى ووقت أطول.

علاوة على ذلك فإنه إذا لم تؤخذ الاحتياطات المناسبة ، فإن المواد الجافة المسامية يكون لها مطلق الحرية في الحصول على الماء بكميات مختلفة ، صغيرة أو كبيرة ، ليوازن محتواها المائي الداخلى مع المحتوى المائي للهواء المحيط في البيئة الخارجية .

#### ١-٥- الارتفاع الشعري في المباني المسامية :

##### Capillary rise in porous masonry

لو أن أساسات المباني غير معزولة Not- insulated ضد المياه الأرضية " أو أن العزل كان جزئيا أو متهاكما " فإن المياه تتخلل عناصر البناء بواسطة ميكانيكية المص The suction mechanism .

ويعتمد ارتفاع الماء في المسام ، وكذلك المدى الذى يصل اليه - بصفة أساسية - على قوى التوازن بين الماء الداخلى الى المسام ، والماء المتبخر من سطح الحوائط وعندما تتساوى هذه القوى فإن ارتفاع الماء سوف يتوقف .

أيضا يعتمد إمتصاص الماء على سمك الحوائط ، إذ يزداد ارتفاع الماء في الحوائط السميكة عندما يقل تأثير قوى الجاذبية الأرضية The gravity forces ، ولا يعتد بتأثيرات قوى الجاذبية الأرضية المضادة لارتفاع الماء ، إذا تعلق الأمر بقوى البخر ، حيث تبدو في الحالة الأخيرة مهمة .

ويلاحظ أن دورة الهواء بالقرب من السطح تعجل عملية البخر ، وتتسبب في خفض مستوى الرطوبة .

أيضا في حالة النشاط المستمر للأملاح الذائبة فإنها تلعب دور  
الخاصة الشعرية ، حيث تتسبب في ظاهرة الارتفاع الشعري  
The capillary Rise لأنها تتراكم على أسطح المباني بعد تعرضها لعملية  
البخر. هذا بالإضافة إلى أن تبلور هذه الأملاح يؤدي إلى تلف هذه الأسطح.

كما تجذب الأملاح الماء بالخاصة الأسموزية Ismosis وقد يؤدي  
ذلك إلى رفع مستوى الماء إلى حد ما داخل عناصر المباني .

كما أن تراكم الملح لا يتوقف إذا وجدت الأملاح الذائبة ، واستمرت  
عملية البخر من السطح، وبذلك لاتصل إلى حالة التوازن الثابت  
Stable equilibrium الذي يحدث عند توقف عمليات البخر .

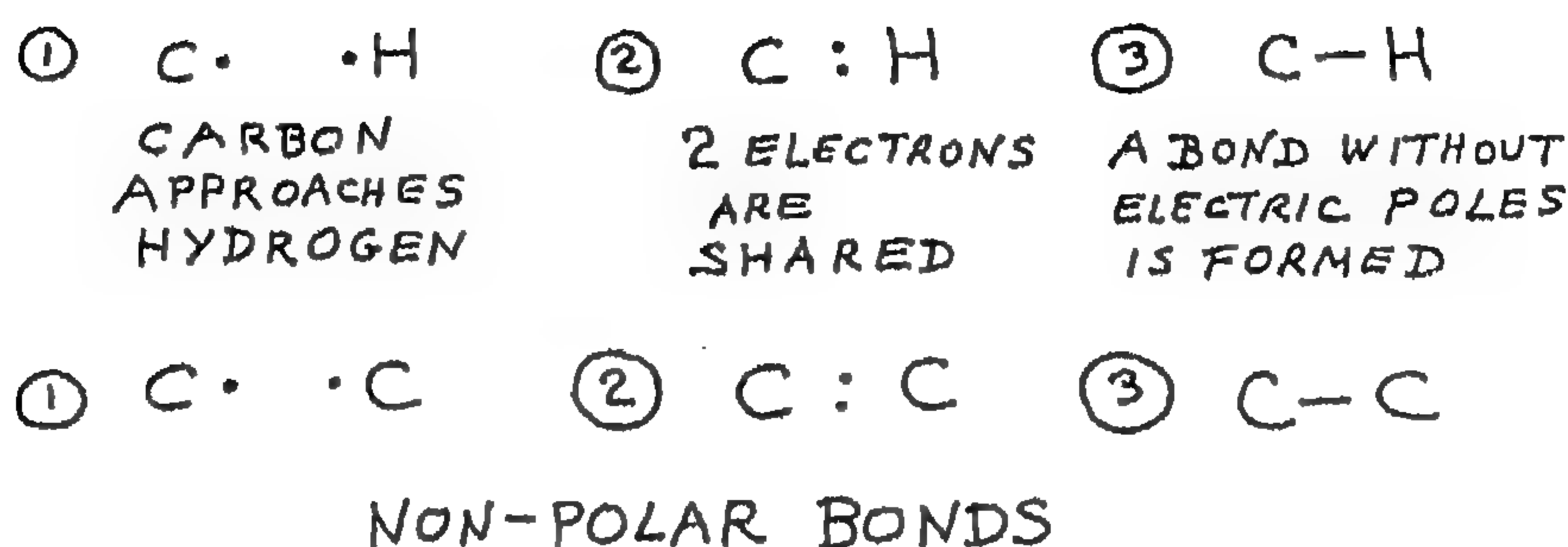
وقد لوحظ أن قدم الحوائط يؤدي إلى زيادة ارتفاع الماء بها ،  
بالخاصة الشعرية ؛ حيث تزداد نفاذيتها بالقدم.

#### ١-٦- الأسطح غير القطبية Hydrophobic surfaces :

تتركب العديد من المواد العضوية مثل : الزيوت المعدنية Mineral  
oils والقار Bitumen والدهون Fats والراتجات الصناعية والطبيعية  
Synthetic & Natural resins بصفة أساسية من ذرات الكربون  
والهيدروجين . ولكل من الكربون والهيدروجين غالبا نفس السالبية الكهربائية  
Electro- negativity ولذلك فإنهما يتقاسمان الإلكترونات ليكونا روابط  
تساهمية لكي تبدو العناصر ثابتة كيميائيا.

نفس الشيء يحدث بين ذرات الكربون حيث تتكون روابط غير  
قطبية، ولا يتكون مجال كهربى No electric pole is formed .

والشكل رقم (١٢) يوضح الروابط غير القطبية بين الكربون والهيدروجين ، وبين الكربون والكربون .



شكل رقم (١٢) يوضح

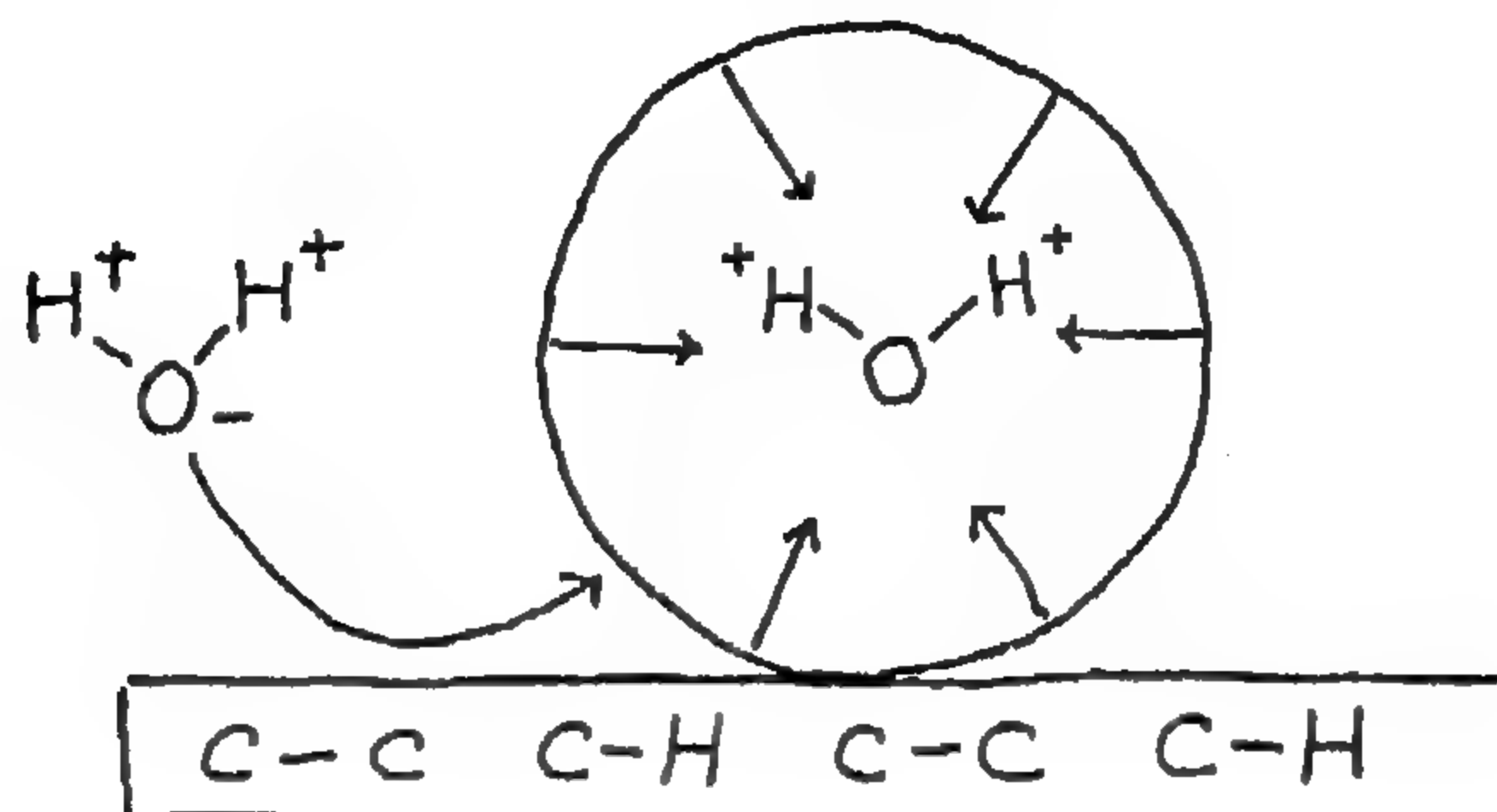
الروابط غير القطبية

والمواد العضوية تسمى : مواد غير قطبية Non - polar وهذه المواد لا تستطيع جذب جزيئات الماء لأنها لا تستطيع تكون روابط هيدروجينية معها .

كما أن جزيئات الماء على الأسطح غير القطبية تجذب بعضها الآخر لتكون قطرات ماء ، لا تنتشر على السطح، ولا تكون عشاء مائي يغطيه . وبناء عليه فالمياه لا تبلل الأسطح غير القطبية ، إذ تكون زاوية التماس بين قطرات الماء والسطح غير القطبي كبيرة جدا .

انظر الشكل رقم (١٣) .

## WATER ON NON-POLAR SOLID SURFACE



### شكل رقم (١٢) يوضح

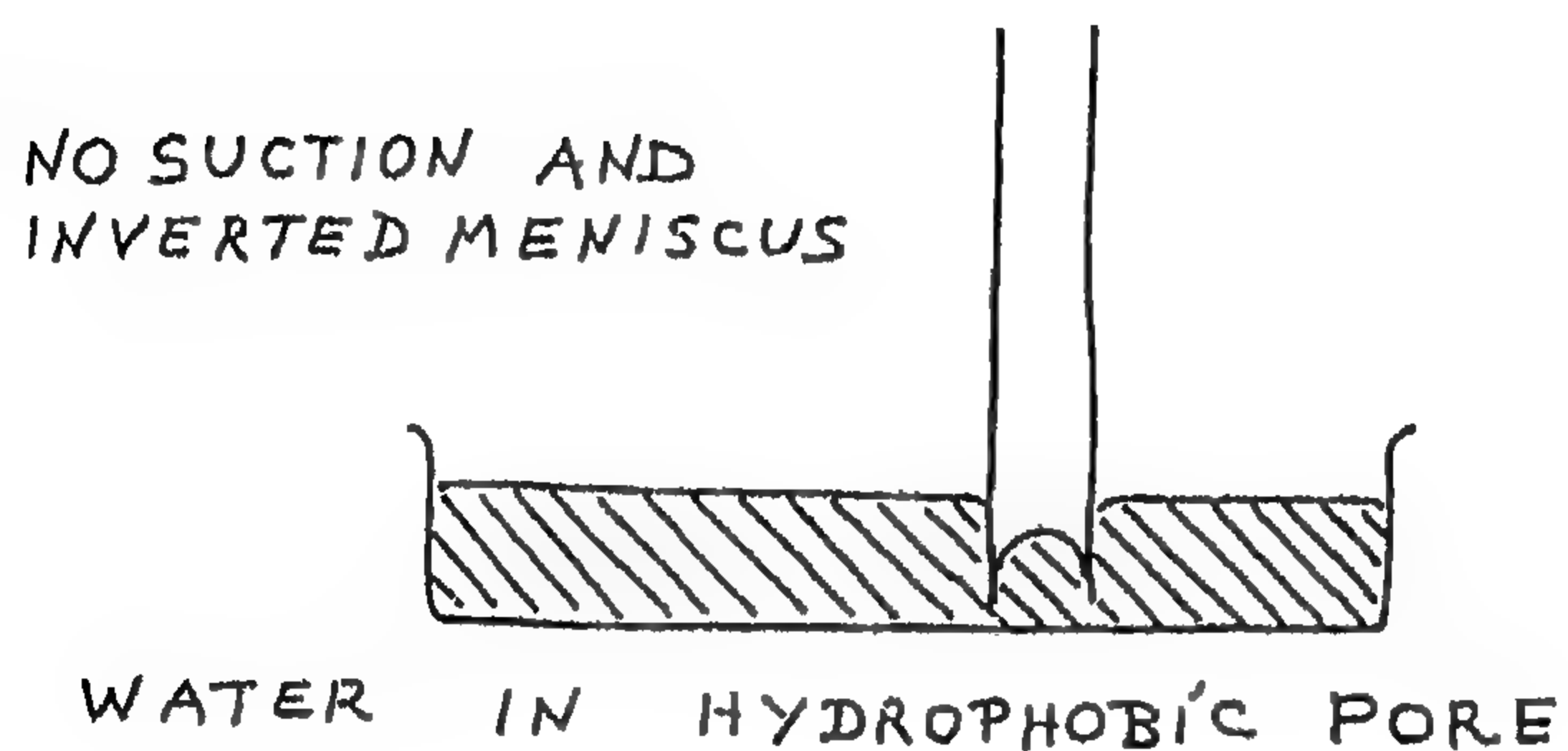
#### مظهر قطرة الماء على السطح الصلب غير القطبي

ويلاحظ أن المياه التي تظهر مطرودة على أسطح المواد غير القطبية، أكثر من تلك التي تبدو منجذبة إليها . لذلك تسمى هذه الأسطح .. أسطح طاردة للماء Hydrophobic أو كارهة له Water- Hating .

كما يلاحظ أنه في مسام المواد الكارهة للماء لا يوجد إمتصاص عن طريق الخاصة الشعرية ، كما لا يوجد قوى تجاذب بين الماء ومسام الحوائط. وفي الواقع فإن الماء يظهر وكأنه يطرد من المسام.

وفي تجربة الارتفاع الشعري نجد أن مستوى الماء داخل الأنبوب الشعريه ، أقل من مستوى الماء الحر خارج الأنبوبة . انظر الشكل رقم (١٤) كما يظهر الماء داخل الأنبوبة على شكل محدب An inverted

. meniscus



شكل رقم (١٤)

مظهر الماء في مسام المواد غير القطبية

الفصل الثانى

تلف المواد المسامية

**Deterioration of Porous materials**

الضغط الميكانيكى

**Mechanical stress**





## ٢-١ - سلوك المواد الهشة تحت إجهادات الضغط والشد

### Stress- strain behaviour of brittle materials:

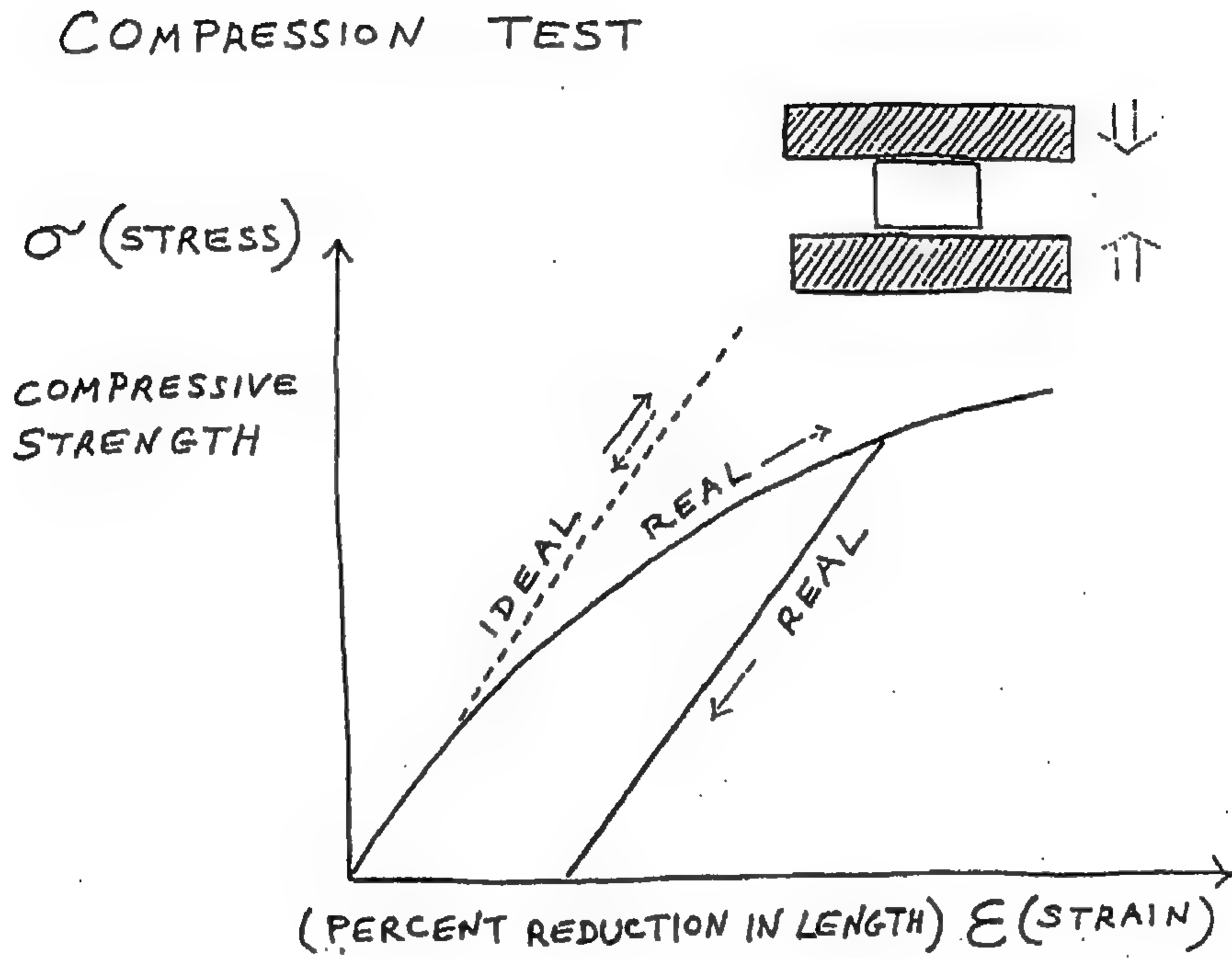
السلوك الميكانيكي للطوب والمون والحجر يمكن تعريفه بلفظ هش Brittle أو بتفصيل أكثر .... صلب وصلد وسهل الكسر . Hard, rigid and fragile .

وغالبا ما يتم دراسة السلوك الميكانيكي للمواد بواسطة اختبارات الشد والضغط Tension & Compression tests حيث تخضع العينات القياسية لزيادة في الضغوط أو الأحمال، وكذلك تخضع لاختبارات الشد أو التغير في الأبعاد.

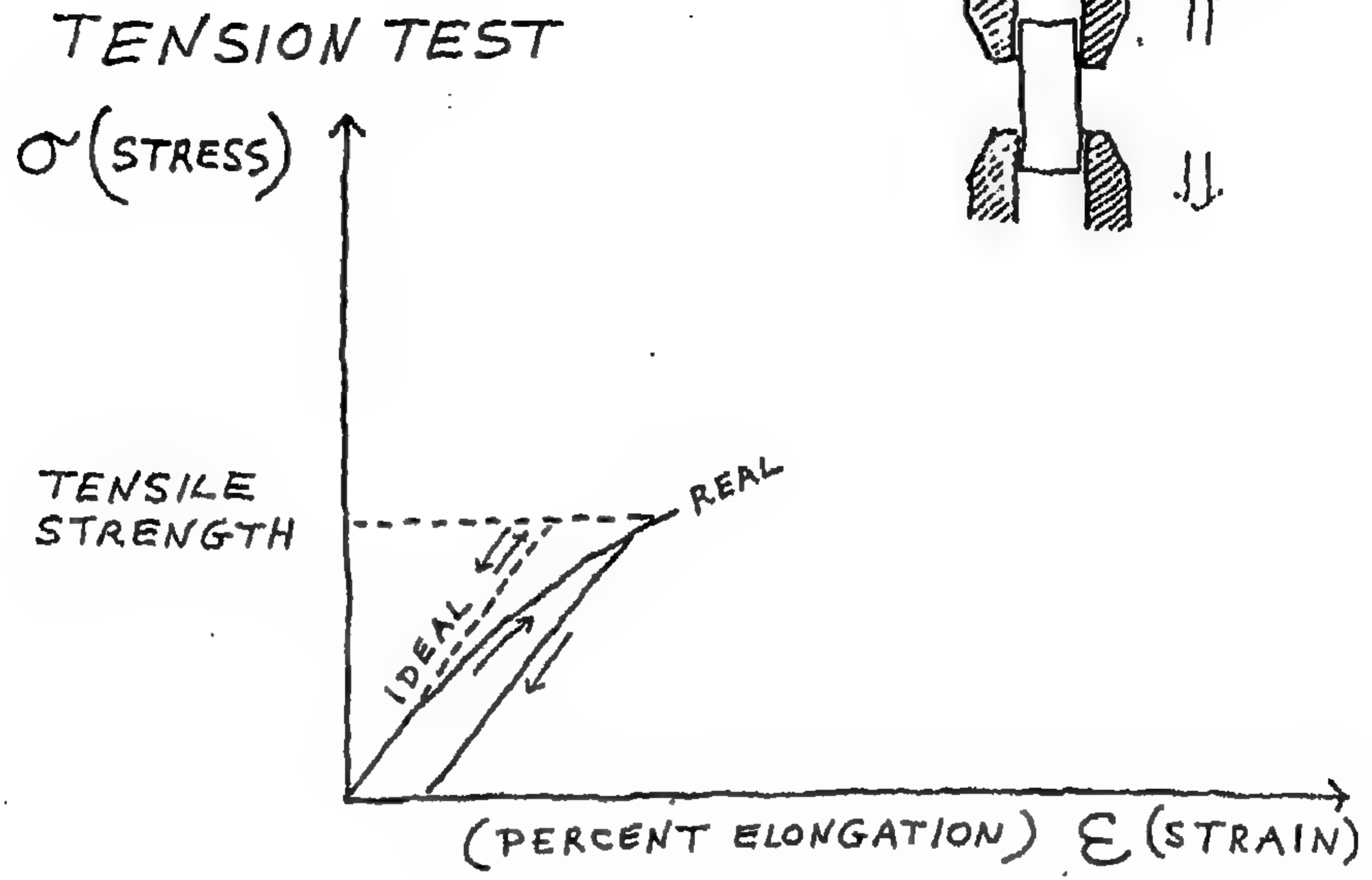
وتسجل باستمرار هذه الاختبارات الإجهادات التي تتعرض لها العينات، والتي تؤدي إلى تكسیرها ، وتسمى مقاومة الضغط أو الشد لهذه المواد The tensile or compressive strength of the Material . وفيما يلي رسم بياني يوضح نتائج اختبارات الشد والضغط ، شكل رقم (١٥).

حيث يعبر محور الإحداثي الصادي (Y) عن الاجهادات أو الضغوط Stresses ومحور الاحداثي السيني (X) يعبر عن الشد Strain .

وفيما يلي أمثلة لمنحنيات نموذجية تمثل مقاومة الضغط والشد للمواد الهشة، شكل رقم (١٥)



شكل رقم (١٥/أ) يوضح  
رسم بياني لاختبارات الشد للمواد الهشة



شكل رقم (١٥/ب) يوضح  
رسم بياني لاختبارات الضغط للمواد الهشة

فى الحالة المثالية : المنحنى البيانى يمثل على هيئة خط مستقيم ويدل على أن قوة الشد تساوى قوة الضغط الموجهة للينة . وفى هذه الحالة تكون النسبة بين قوة الشد وقوة الضغط ثابتة وهذا يعطينا فكرة عن قدرة المادة على مقاومة أى تغير فى أبعادها .

هذا الثبات لايتماد على شكل الينة فحسب ، ولكن أيضا يعتمد على طبيعة المادة .. وهذا مايسمى المعامل Modulus أو معامل المرونة Elasticity modulus أو المعامل الشاب Young's modulus .

وتعتمد قيمة معامل المرونة على قوة الروابط التى تربط الذرات والبلورات معا داخل المادة .

أيضا فى الحالة المثالية ، عندما يتم إزالة الضغط فإن معامل الشد يجب أن يعود إلى نقطة الصفر، ويجب على المادة أن تعود إلى حالتها الأولى.

مثل هذا السلوك أو التصرف للمواد يسمى: السلوك المر Elastic behaviour وتسمى هذا المواد مواد مرنة Elastic Materials . ومن الرسم البيانى السابق يتضح نتيجة اختبار مواد بناء حقيقية ، حيث نجد أن الخط البيانى غير مستقيم، وهذا يوضح أن معامل المرونة Modulus لا يكون ثابتا على الأكثر.

أيضا قد يحدث بعض التشوه غير العكسى Irreversible deformation فى بعض المواد اللدنة بعد إزالة إجهادات الضغط من عليها، وهذا يرجع إلى حقيقة هامة هى : أن معظم مواد البناء تتكون من عناصر مختلفة ، لها خواص مختلفة أيضا Heterogeneous .

وقد تتكون هذه المواد من بلورات عديدة مختلفة أو مواد زجاجية Glasses تتماسك مع بعضها بواسطة روابط بقوى مختلفة، وغالبا ماتبدأ بعض الروابط في التكسر قبل الأخرى ، أو يحدث أن تتفكك بعض العناصر قبل الأخرى .. كل ذلك يسبب تشوهات غير عكسية في مواد البناء.

كما أن هناك سبب آخر من أسباب الانحراف أو التغير في السلوك المثالي Ideal behaviour لمود البناء ، عند تعرضها لاجهادات الضغط، وهذا يعتمد على حقيقة أن الضغط لا يكون موزعا بانتظام أو بصورة متجانسة خلال العينة التي يتم اختبارها .

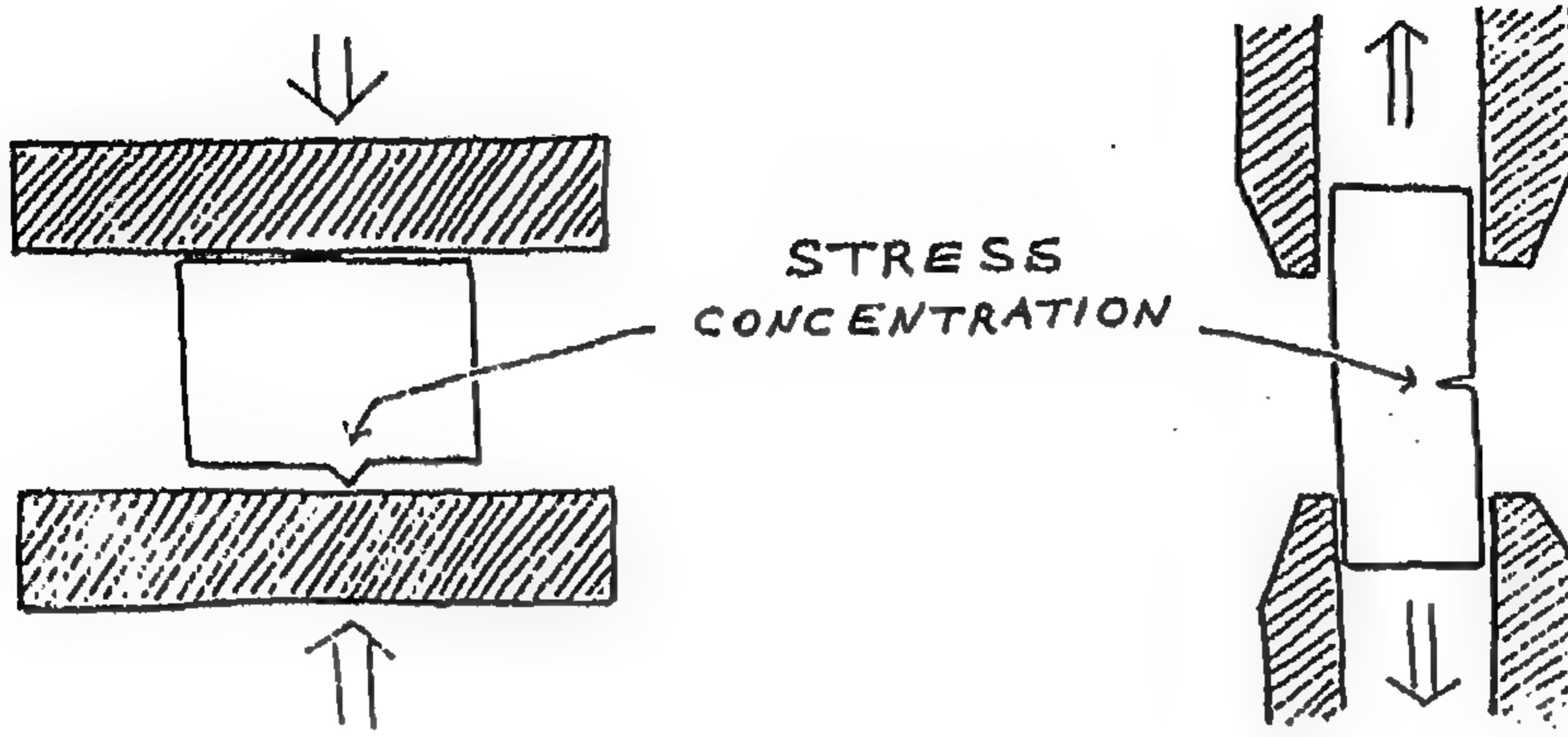
وبناء على ذلك يتركز الضغط على بعض المساحات دون الأخرى ، ونتيجة لذلك تتعرض بعض الأجزاء لضغوط أعلى من معدلاتها ، في حين تتعرض أجزاء أخرى لضغوط أقل مما كان متوقعا لها ، فإذا كانت المادة متجانسة تماما ، فإن الأجزاء التي تتعرض لضغوط أعلى تبدأ في التكسر قبل الأجزاء الأخرى .

وفيما يلي نذكر المناطق التي يتركز عليها الضغط :

١- الأسطح غير المنتظمة في اختبارات الضغط .

٢- الشروخ السطحية في اختبارات الشد .

يظهر ذلك في الشكل رقم (١٦).



شكل رقم (١٦) يوضح

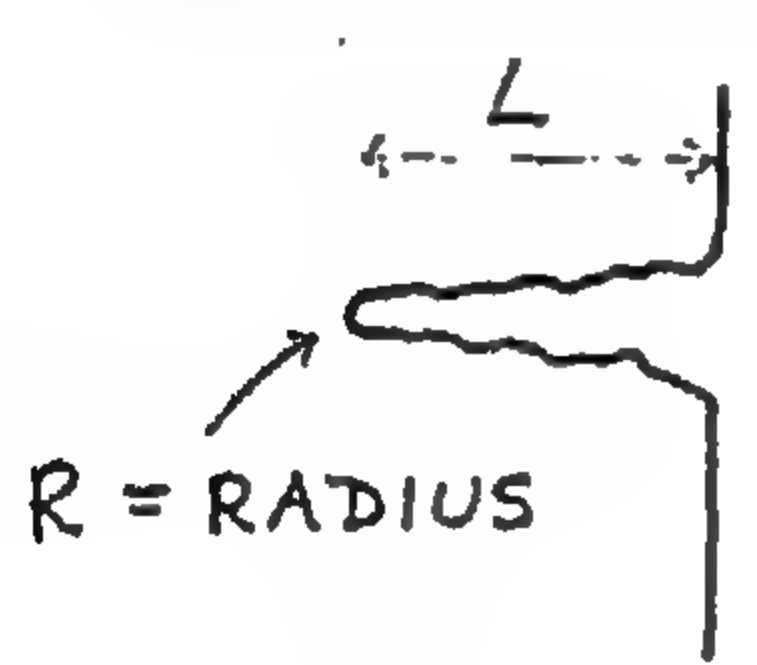
#### مناطق تركيز الضغوط في العينات المختبرة

ومن المحتمل ألا تكون مواد البناء مواد لدنة، وذلك لأنها يحدث بها تشوه غير عكسي إذا تعرضت لإجهادات الضغط، ويطلق عليها مواد هشة Brittle ويحدث التشوه غير العكسي بصفة أساسية في مواد لبناء الهشة بسبب الكسور الموضعية Localized fractures مثل التشقق في البلورات Cleavage in Crystals أو تكسر في الزجاج Fracture in glass وهذه التشوهات لا تعود مرة ثانية بعد إزالة الضغط من عليها، المساحات المشوهة تكون أضعف من المساحات غير المشوهة، وتحتوى على العديد من الشروخ الدقيقة.

وفى اختبار الشد لهذه المواد نجد أن تأثير تركيز الضغط فى مناطق التشوه - على الأخص - يكاد يكون ميتا Deadly .

وتبين معادلة تركيز اجهاد الشد أن عامل التعاضم أو التكبير Magnification factor على قمة الشرخ السطحى تتناسب مع الجذر التربيعى للنسبة بين عمق واتساع الشرخ Depth & width of the crack

TENSILE STRESS MAGNIFICATION  
AT CRACK TIP



$$m = 1 + 2 \sqrt{\frac{L}{R}}$$

$m$  = MAGNIFICATION FACTOR

شكل رقم (١٧) يوضح

معامل تعاضم ضغط الشد على قمة الشرخ

ومعادلة معامل التعاضم

وطبقا للمعادلة السابقة فإن الشرخ الدقيق أو الشعرى الموجود فى سطح المادة يمد قمته - قمة الشرخ - بإجهاد ضغط يتراوح بين ١٠-١٥٠ مره أعلى من نسبة إجهاد الشد.

وفى هذه الحالة فإن الشرخ يمتد بسهولة داخل المادة ويحدث الكسر طبقا لتعاضم قيمة الاجهاد . ويظهر التشوه فى هذه المواد بصورة أكثر من الذى يظهر بواسطة إجهادات الضغط فى اختبار الضغط .



هذا وتقاوم المواد الهشة إجهادات الضغط بصورة أفضل من إجهادات الشد، كما أن قوة مقاومة الشد في هذه المواد تكون أقوى ، وذلك يعتمد على حالة سطح المادة .. مثل وجود شروخ من عدمه .

وبلاحظ أن مغامل مرونة مواد البناء الهشة لايمكن قياسه باستمرار ، وبالتالي يعتبر غير ثابت .

وعندما تتعرض المواد الهشة لإجهادات عالية نسبيا دون أن تتكسر ، فإنه يحدث بها - كما سبق الذكر - تشوه دائم ، كما يظهر بها بعض الشروخ الدقيقة Microscopic cracks في المناطق التي تتعرض لضغوط عالية، أو تتعرض لإجهادات داخلية .

هذه الشروخ تسلك سلوك المسام - بصفة خاصة - عند تعاملهما مع ظاهرة الامتصاص- امتصاص الماء مثلا - وهذا يفسر العلاقة بين الاجهاد الميكانيكي ، وعمليات التلف التي تحدث بواسطة زيادة المياه في مسام المواد الهشة.

وربما يساعد دور الاجهاد الميكانيكي في عمليات تلف المواد الهشة ، في تفسير التناقض الذى يقابلنا غالبا بين اختبارات التجوية المسرعة (المعجلة) Accelerated weathering Tests وسلوك المواد الحقيقي Actual Field behaviour عندما يتم تطبيق مواد العلاج واختبارها .

حيث أنه في اختبارات التسريع أو التسارع Accelerating tests التي تتم في المعمل ، العينات تدور بين درجات الحرارة القصوى التي تتطابق مع حالة الجو Field conditions ولكن طبقا لصغر أبعاد العينات وتحررها من ظاهرة الاحتباس Constraints فإن نتائج الإجهادات تكون أقل

من تلك التي تؤثر على قطعة من مادة معرضه من خلال قطاع في بناء حقيقي.

كما تتأثر مقاومة الشد أيضا في مواد البناء المسامية القطبية ، بوجود مياه داخل هذه المسام . إذ أن الماء يسبب إنقاص مقاومة الشد ، وذلك لأنه عال القطبية ، وتستطيع جزيئاته بكل سهولة تكوين روابط على الأسطح الجديدة في الشروخ الحديثة Newly opened cracks .

أما المواد غير القطبية- وبنفس البرهان السابق - تؤدي إلى إنقاص مقاومة الشد ، ويمكن توضيح ذلك عن طريق الاختبارات ، حيث ثبت أن شمع البرافين Paraffin wax على الرغم من أنه ليس له مقاومة شد تذكر ، فإنه ربما يزيد مقاومة شد الحجر الجيري لأكثر من ٤٠٠٪.

## ٢-٢ الضغط الخارجي External stress:

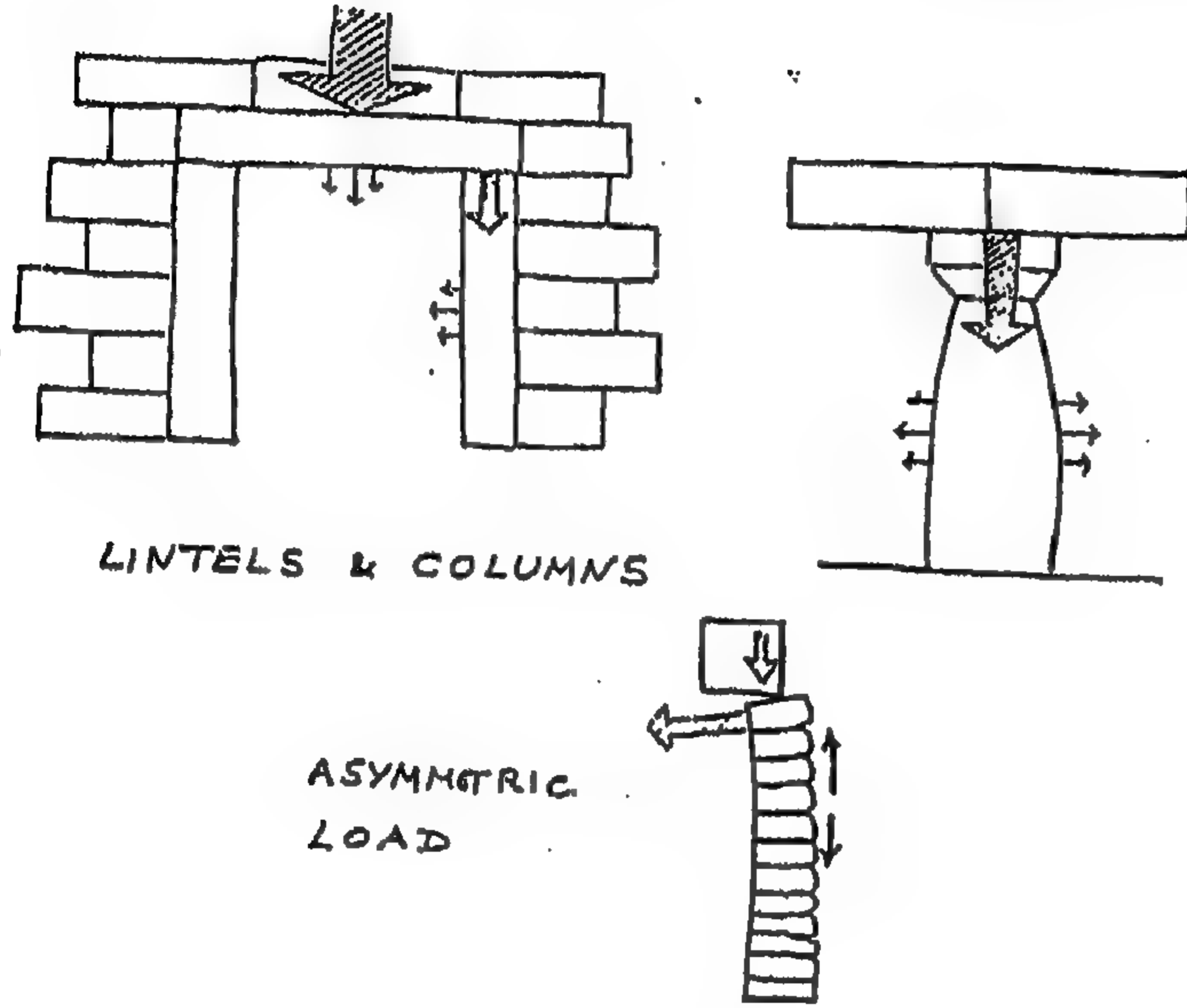
الضغوط الميكانيكية التي تتعرض لها مواد البناء، في مكانها، تؤدي إلى تدهورها ، خاصة ضغوط الشد Tensile stresses التي تؤثر في المواد الهشة ، ذات المقاومة الضعيفة .

وإذا لم تحدث هذه الضغوط كسور كبيرة Macroscopic breaking فإنها تسبب تشوهات دائمة، أو ثابتة Permanent deformation وشروخ دقيقة Microscopic cracks يعجل من حدوثها نسب التجوية التي تعرضت لها هذه المواد.

وفيما يلي نذكر العديد من الميكانيكيات التي تؤدي إلى ضغوط محلية عالية Localized High Stresses في مواد البناء.

## - الحمل Load:

فى أى مبنى توجد بعض الأجزاء التى تكون عرضة لضغوط أعلى من الأجزاء الأخرى ، على سبيل المثال : الأعمدة Columns والعتب Lintels والدعامات Pillars . انظر الشكل رقم (١٨)



شكل رقم (١٨) يوضح

الضغوط التى تتعرض لهما الأعمدة والاعتاب

فى الغالب يكون الهدف من وجود ضغوط شد قليلة Minimize tensile stresses أنها تسمح لمواد البناء بالتصرف تحت ظروف اجهادات الضغط الرئيسية أو الحمل Mainly compression or load.

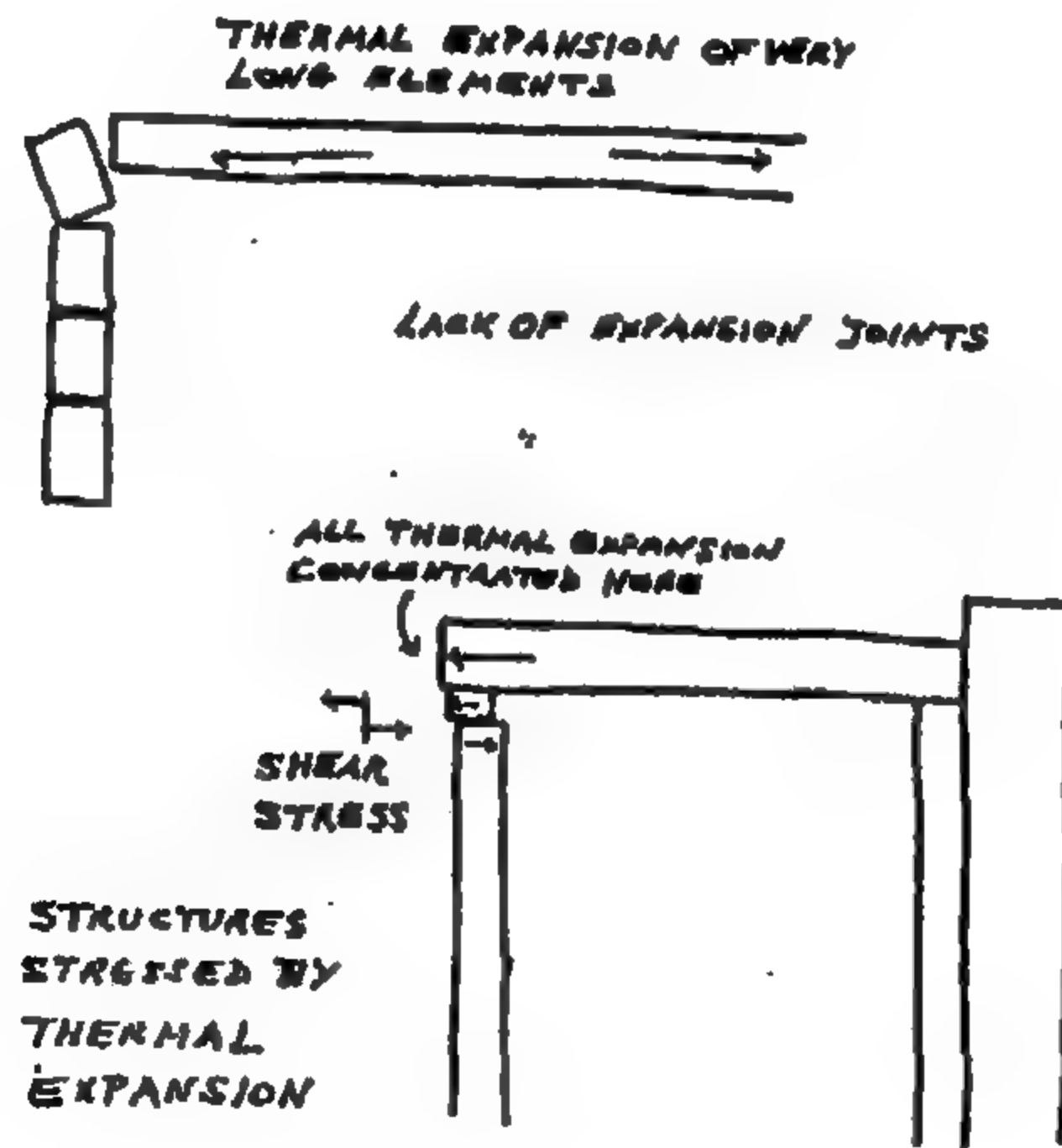
ومهما يكن فإن نظم الأسقف والأحمال غير المتماثلة ، وقوى الدفع الجانبية Side thrusts الخ تسبب بعض ضغوط شد Some tensile stresses ، هذه الضغوط - فى الغالب - تلاحظ فى المباني ، بصفة خاصة ،

فى الأجزاء التى تعرضت لقوى ضغط تحت تأثير عمليات التحلل السريعة.  
انظر الشكل السابق رقم (١٨).

### التمدد الحرارى Thermal expansion:

تخضع مواد البناء يوميا وموسميا لدورات الحرارة Temperature cycles " أى أن هذه المواد تتعرض للتغير فى درجات الحرارة يوميا وموسميا" مثل هذه الدورات تكون مصادر هامة للضغط ، لأنهما تؤدي إلى تمدد Expand هذه المواد عند ارتفاع درجة الحرارة . وانكماشها Contract عند انخفاضها . انظر الشكل رقم (١٩)

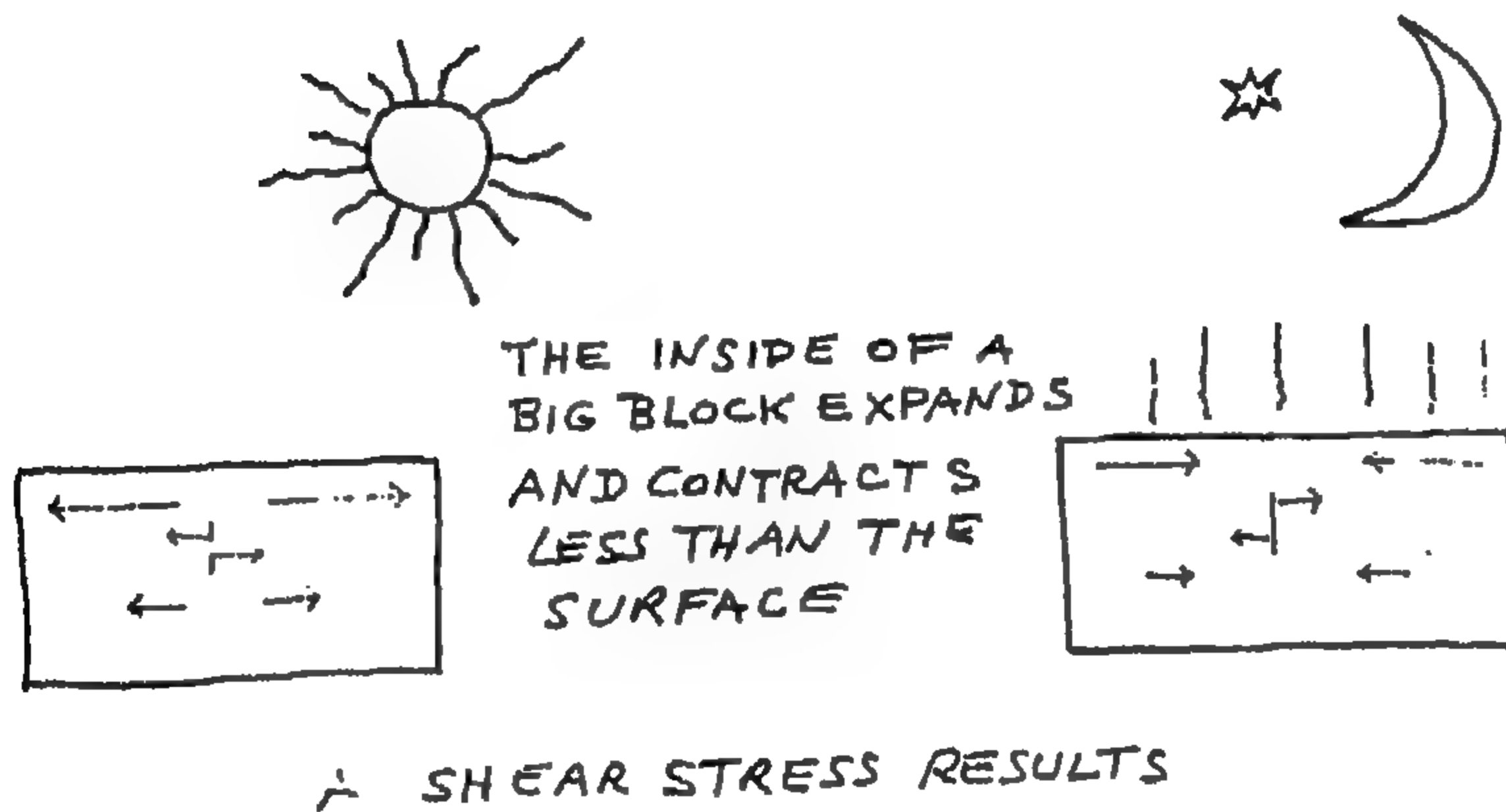
ويصبح التغير فى أبعاد مواد البناء، نتيجة طبيعية لحالات التمدد والانكماش المستمرة . ويزداد التغير نسبيا فى اتجاه الطول ، عندما يكون البناء عاليا ، وذلك لأن القطع الطويلة تكون عرضة لضغوط أكثر من القطع القصيرة . انظر الشكل رقم (١٩)



شكل رقم (١٩) يوضح

الضغوط الناتجة عن التمدد الحرارى لمواد البناء

وتزداد الضغوط داخل أجزاء المواد المتجانسة Homogeneous بين السطح الخارجى المعرض مباشرة ، للبيئة، ويتعرض لتأثير التغير الكبير فى درجات الحرارة ، وبين الأجزاء الداخلية، التى تبعد عن المؤثرات الخارجية المباشرة ، وتكون درجة حرارتها أقل من درجة حرارة السطح الخارجى. وفى المناطق الصحراوية ، وعندما يكون الجو صافيا، فإن التغير فى معدلات درجات الحرارة يكون كبيرا جدا بين الليل والنهار ، حيث تبرد الأرض فى الليل عن طريق اتجاه الاشعاعات Radiation نحو السماء المظلمة The black sky . انظر الشكل رقم (٢٠)



شكل رقم (٢٠) يوضح

التمدد والانكماش فى مواد البناء نتيجة التغير فى معدلات الحرارة

ويتكرر حدوث ظاهرة التمدد والانكماش المعروفة بالتمدد الحرارى، فى المباني، حيث تتسبب فى تحريك التمدد الناتج عن الحرارة فى عناصر

المبنى، الذى يحدث بدوره ذبذبات داخل هذه العناصر. وبما أن هذه العناصر مقيدة فى البناء ، فإن الذبذبات تسبب إجهادات ينتج عنها تشويه دائم أو شقوق فى العناصر المعمارية .

وعندما تظهر الشروخ أو الشقوق فى العناصر المعمارية غالبا لا تعود إلى حالتها الطبيعية مرة أخرى ، بصورة كاملة وذلك لأن حطام مواد البناء يسقط داخل هذه الشروخ ويؤدى إلى توسعتها تدريجيا أكثر فأكثر.

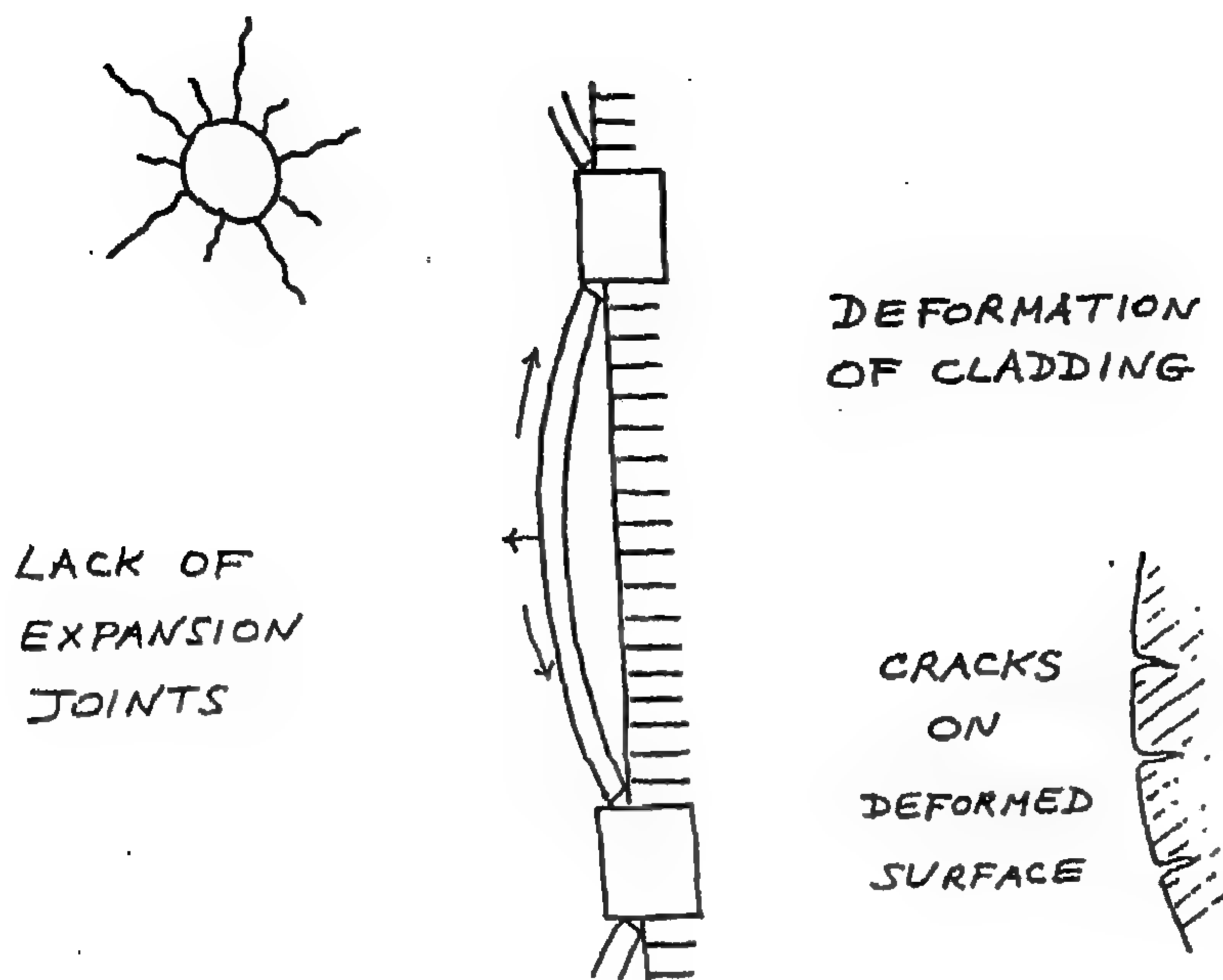
ومن الممكن أن تكون مواد الكسوة الخارجية محل ضغوط كبيرة إذا لم يراع المصمم ، أو يضع فى حسابه التمدد الحرارى للمواد التى تستخدم فى تنفيذها .

فمثلا : الكسوة الحجرية تتمدد تمدا محدودا Restricted expansion بسبب الحرارة، هذا التمدد يسبب انبعاج ينتج عنه شروخ دقيقة، وتشوهات غير عكسية فى السطح الخارجى للكسوة . انظر شكل (٢١).

مع ملاحظة أن البلاطات العديدة إذا جمعت مع بعضها فإنها تتصرف وكأنها قطعة واحدة.

ويمكن حساب نسبة التمدد بسهولة ، ولو افترضنا وجود بلاطة طولها ٦ م ، تعرضت لحرارة أعلى من الحرارة الجوية بمقدار ١٠ °م، فإنها سوف تتبعج بنسبة ٢٥مم، بمعدل تغير فى الطول حوالى ٠,٢٥ مم.





شكل رقم (٢١) يوضح

التشوهات التي تحدث في طبقات الكسوة

الخارجية بسبب التمدد الحرارى

- تحلل الرخام Deterioration of Marble:

يحتوى الرخام على بلورات كبيرة من الكالسيت (كربونات الكالسيوم) ويتغير معامل التمدد الحرارى للكالسيت طبقا لاتجاه هذه البلورات ، أو مظهرها الخارجى .

وقد ثبت أن معامل التمدد الحرارى لبلوره الكالسيت

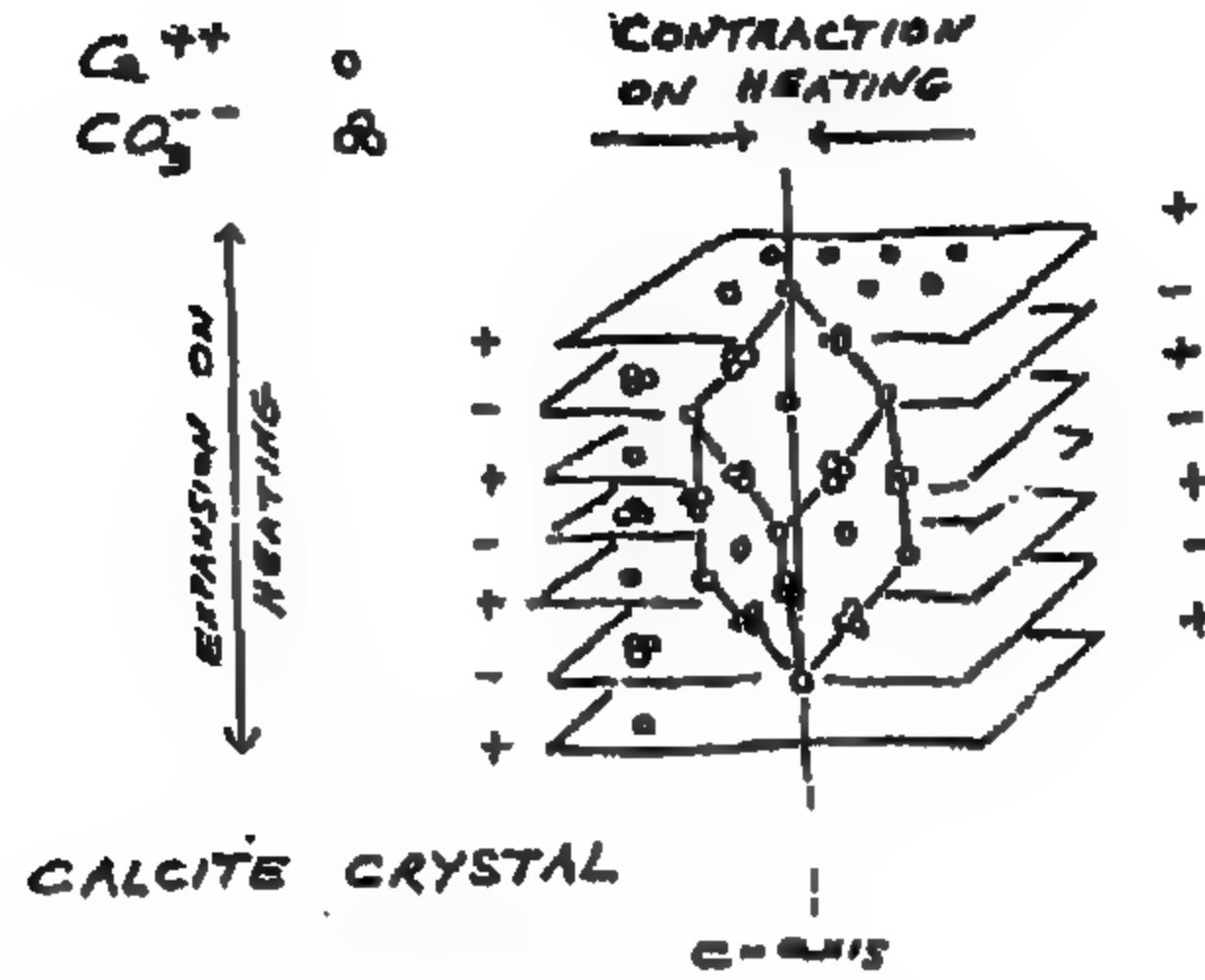
\*  $25 \cdot 10^{-6} \text{ m/m}^\circ\text{C}$  along the C.axis

\*  $-5 \cdot 10^{-6} \text{ m/m}^\circ\text{C}$  across the C. Axis

وفيما يلى شكل يوضح تأثير زيادة درجة الحرارة على بلورة الرخام،

حيث تتمدد البلوره فعليا فى اتجاه المحور (C) أى فى الاتجاه الرأسى أو

الطولى ، وتتكمش فى الاتجاه الأفقى أو العرضى The transversal direction. انظر الشكل رقم (٢٢)



شكل رقم (٢٢) يوضح  
تمدد وإنكماش بللوره رخام بواسطة  
التغير فى معدلات الحرارة

ويسبب التحرك الناتج عن التمدد والانكماش فى الرخام ضغوطا بين كل بلورتين تعرضتا لظروف التمدد " أى تعرضتا لزيادة الحرارة ". وقد يحد نفس الشيء بسبب إتصال كل بلوره بالأخرى داخل معدن الكالسيت نفسه .

وعموما فإن الضغوط الحرارية The thermal stresses تحدث تفكك أو تصفح Cleavage داخلى فى البلورات. "أى تتفصل البلورات عن بعضها". لهذا السبب نجد أن الرخام تزداد مساميته بزيادة وقت تعرضه للحرارة فى البيئة المحيطة .

ونلاحظ أن شكل الشروخ التى تحدث نتيجة التمدد الحرارى، يوضح شكل وكيفية حركة المياه عند زيادتها داخل هذه الشروخ ، مما ينذر بحدوث عمليات تحلل فى الأجزاء الداخلية للمواد .

## - التمدد الحرارى التفاضلى Differential thermal expansion:

تختلف بعض مواد البناء بشدة عن المواد الأخرى فى معامل التمدد

الحرارى Expansion coefficient.

وفيما يلى جدول يوضح حركة تقريبية حرة Unrestrained

movement فى قطع من مواد مختلفة ، عند زيادة درجة الحرارة ٣٠ °م.

بمعنى أن هذا الجدول يوضح التمدد الطولى الذى يحدث فى بعض مواد البناء

نتيجة تعرضها لإرتفاع فى درجة الحرارة .

جدول رقم (١) يوضح

مقدار التمدد الحرارى لبعض مواد البناء

Materials	Thermal Expansion
Marble	0.15 mm
Cement concrete	0.3 ÷ 0.4 mm
Limestone	0.15 mm
Granite	0.25 mm
Lime - sand mortar	0.3 ÷ 0.4 mm
Brick and terracotta	0.15 ÷ 0.20 mm
Iron	0.3mm
Glass	0.3 mm
Aluminium	0.7 mm
Thermo-plastic resins	1.5 ÷ 3.0 mm
Reinforced plastics	0.7 mm

ويجب الوضع فى الاعتبار أن معاملات التمدد الحرارى للحديد

والخرسانة تقريبا ضعف معاملات تمدد الطوب والحجر الجيرى والحجر

الرملى ومونة الجير .

مثل هذا الاعتبار هام جدا خاصة عندما يتم وضع مخطط إنشائى

لتسليح المباني القديمة باستخدام مواد مثل : الحديد والخرسانة .

إذ أنه عندما يتصل هذين العنصرين بمواد البناء ويتجهان نحو التمدد أو الانكماش بطريقة أو بأخرى ، فإن الاجهادات سوف تزداد في كل منهما . لكن المادة الضعيفة سوف تتكسر أو تتشوه بسرعة أكثر ، ويحدث فيهما شروخ ميكروسكوبية .

وفى الغالب فإن عناصر البناء القديم القريبة من المنشآت المسلحة الحديثة تتعرض للتلف المتزايد باستمرار ، ويظهر بها شروخ دقيقة .  
Micro cracks

وفيما يلى قائمة بمعاملات التمدد الحرارى للمواد الشائعة الاستعمال فى المباني .

### جدول رقم (٢)

معامل التمدد الحرارى لبعض مواد البناء

Concrete	$10.10^{-6}$	
Concrete with gravel	$9 \div 12.10^{-6}$	
Concrete with expanded clay	$7 \div 9.10^{-6}$	
Cement mortar	$10 \div 11.10^{-6}$	
Lime mortar	$8 \div 10.10^{-6}$	
Lime stone	$7.10^{-6}$	
Brick	$5.10^{-6}$	
Granite	$8.10^{-6}$	
Glass (10% alkali)	$4.8.10^{-6}$	
Iron	$11.5.10^{-6}$	
Steel	$10 \div 14.10^{-6}$	
Copper	$16.8.10^{-6}$	
Aluminium	$23.8.10^{-6}$	
Lead	$29.4.10^{-6}$	

Pine, along fibres	$5.4. 10^{-6}$	across fibres $34.1. 10^{-6}$
Oak, along fibres	$3.4. 10^{-6}$	across fibres $28.4. 10^{-6}$
Fir		across fibres $58.4. 10^{-6}$
Wood Laminates	$10 \div 40. 10^{-6}$	
Polyester resins	$100 \div 150. 10^{-6}$	
Glass-polyester laminates	$35 \div 45. 10^{-6}$	
Epoxy resins	$60. 10^{-6}$	
Epoxy with silica filler (1:5)	$20. 10^{-6}$	
Acrylic resins	$70 \div 80. 10^{-6}$	
PVC	$70 \div 80. 10^{-6}$	
Nylon 66	$70 \div 100. 10^{-6}$	

#### - التمدد بسبب الرطوبة Expansion due to Moisture :

تتمدد معظم مواد البناء عندما تمتص Absorb الماء وتتكمش عندما تطلقها Release it .

وفي الغالب فإن معاملات تمدد هذه المواد تكون صغيرة إلى حد ما وقد نتشابه معها الإجهادات الناتجة عنهما ، لذلك فمن المتوقع إهمال هذه الإجهادات عند حدوثها بسبب التخيرات في درجة الحرارة Temperature variations .

ومن المهم جدا أن نضع في الاعتبار التمدد الذي يحدث بسبب الرطوبة ، عند فحص المواد التي تحتوي على طفله Clay.

مثال ذلك : بعض أنواع الحجر الرملي الواسع الاستخدام في البناء ، كالمولاس السويسري The swiss Molasses الذي يتمدد عند بلله بنفس مقدار التمدد الذي يحدث عند زيادة درجة الحرارة التي يتعرض لها الأكثر من  $50^{\circ} \text{C}$  .



وفى مثل هذه الحالة فإن التمدد بسبب الرطوبة يسبب إجهادات كبيرة ، تحدث بين سطح الحجر والأجزاء الداخلية - وبصفة خاصة - عند تبليل هذا السطح بالماء.

– الضغط الذى يحدث بسبب تقنيات العمل

### Stress caused by working techniques

ربما يحدث التلف الميكانيكى لأسطح مواد البناء أثناء تجهيز هذه المواد للاستخدام، أو بسبب التنظيف الميكانيكى.

وذلك يحدث ،بصفة خاصة، فى الأحجار التى يتم الحصول عليها من المحاجر، بواسطة التفجير بالديناميت ، حيث تتصدع أسطح هذه الأحجار. كما أن عمليات النحت والتشكيل باستخدام الشواكيش أو السكاكين أو غيرهم تؤدي إلى نفس النتيجة .

أيضا عمليات التنظيف باستخدام Grit blasting أو Scratch brushing ربما تسبب أضرار ميكانيكية على الأسطح ، عن طريق زيادة عدد الشروخ الميكروسكوبية والتي تؤدي دائما إلى تعجيل معدلات التجوية. على العكس من ذلك يجب معرفة أن الصقل الجيد لأسطح الأحجار، أثناء إعدادها للاستخدام فى أعمال البناء ، يمكن أن يزيل كل عيوب المادة، وذلك لأن هذا العمل يؤدي إلى إعطاء المادة سطح أمامى أملس ناعم يقاوم عمليات التجوية ، ويصبح أكثر مقاومة لعمليات التلف .

ويلاحظ أنه فى معظم مواد البناء تعتمد معدلات التلف الذى يحدث بها على حالة أسطحها.



## ٢-٣- الضغط الداخلى Internal stress:

من الممكن أن ترتفع الضغوط داخل مسام المواد المنفذة ، وذلك عندما تتكون داخل هذه المسام بللورات ثلجية فى حالة وجود الصقيع Frost، أو عندما تتبخر المياه تاركة بللورات لمواد ذائبة - مثل : بللورات الملح Salt crystallization داخل مسام المواد .

فى كلتا الحالتين فإن نمو البللورات داخل مسام المواد يؤدي إلى وجود ضغوط داخلية " قد تتساوى مع مقاومة الضغط فى المواد التى تحيط بها " ، إلا أن زيادة ضغوط النمو البللورى - فى الغالب - يؤدي إلى تفتت هذه المواد .

ومهما يكن .. فإنه بالقرب من السطح ، يتعرض قطاع رقيق من المادة - طبقة رقيقة - لقوى دفع من الداخل ، قد تساوى قوى الشد التى تقتلعها من الخارج ، وربما يسهل ذلك من تشقق أو تفتت أو كسر المواد الهشة فى هذه الطبقة أو القطاع .

الميكانيكيات التى تحدث بواسطتها الضغوط الداخلية يمكن مناقشتها أو وضعها فى الاعتبار ، خاصة بعد ماتوفرت لدينا معلومات كافية ومتاحة لتفسير هذه الميكنات، إلا أن ذلك لا يمنع أننا مازلنا فى حاجة إلى أبحاث أخرى .

## الصقيع Frost:

يوجد ميكانيكيتان أساسيتان للضغوط الداخلية الحاصلة بسبب الصقيع يمكن شرحهما فيما يلى :

### الميكانيكية الأولى : ميكانيكية دفع الثلج أو الصقيع Frost heave:

هذه الميكانيكية تعطينا فكرة عامة عن بلورات الثلج Ice Crystals أو عدسات الثلج Ice Lenses التي تنمو في الفراغات الواسعة نسبيا ، لكنها لا تستطيع النمو في المسام الضيقة إلا تحت ضغط .

والماء الموجود داخل المسام الصغيرة يمد البلورات بمصدر دائم للمياه عن طريق الانتشار Diffusion

### الميكانيكية الثانية : الاحتبال أو الإمتلاء بالماء Water interapment:

تعتمد هذه الميكانيكية - في الأصل - على زيادة الحجم الذي يتزامن مع عملية التجمد .

وفي هذا النموذج ، يكون الماء الذي يظل على حالة السيولة معوقا لعملية التجمد في مناطق التجمد ، حيث لا يجد مكانا يسمح له بالتجمد عندما يريد ذلك . وتظل المياه المتبقية متحركة في حالة السيولة ، منتقلة من مكان لآخر إلى أن تبدأ فعلا في التجمد ، لذلك ينشأ الضغط عندما يتجمد الماء المتبقى فعليا . انظر الشكل رقم (٢٣).

### - تبلور الأملاح Salt crystallization:

في هذه الحالة - أيضا - يحدث نموذجين لميكانيكا التلف .

### النموذج الأول : نموذج الدفع A Heave Model:

هذا النموذج يشبه نموذج دفع الثلج ، ويعتمد على نمو بلورات الملح في المسام الواسعة ، أو الشروخ ، عندما تمتص هذه البلورات المحلول المائي من المسام الصغيرة . ولو استمر مص الماء متاحا من المسام

الصغيرة ، ستمتلئ المسام الواسعة بالبلورات مسببة ضغوط داخلية متلفة في المواد .

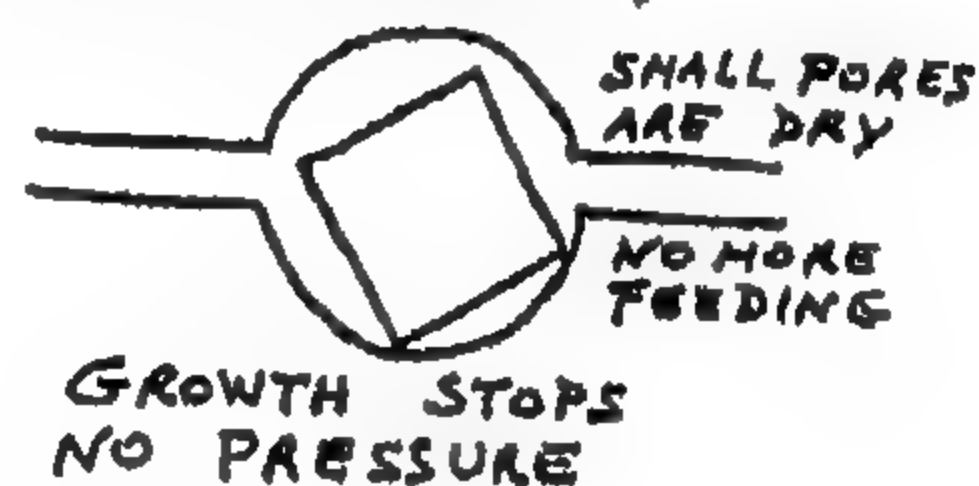
وفي هذه الحالة - أيضا - تحدد النسبة بين حجم المسام الضيقة والمسام الواسعة ، مقدار الضغوط ، التي تزداد نسبتها غالبا في المسام الضيقة - الدقيقة - عنها في المسام الواسعة .

A CRYSTAL GROWS IN A LARGE PORE. THE SMALL PORES FEED THE GROWTH

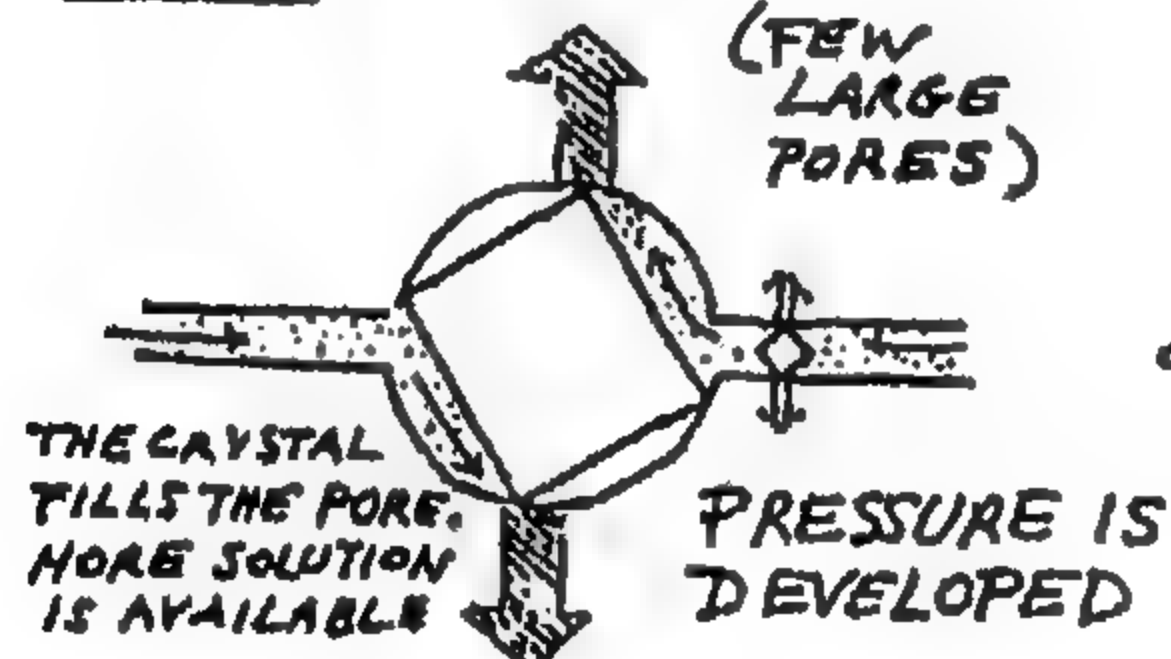


CASE 1.

MANY LARGE PORES (FEW SMALL PORES)



CASE 2. MANY SMALL PORES (FEW LARGE PORES)



GROWING CRYSTAL  
CAPILLARY SUCTION  
PORE WALL  
CAPILLARY SUCTION IS THE DRIVING FORCE

شكل رقم (٢٣) يوضح

حالات نمو البلورات داخل مسام المواد

الحالة الأولى : توقف نمو البلورات نتيجة جفاف المسام .

الحالة الثانية : استمرار نمو البلورات نتيجة وجود تحاليل داخل المسام.

## النموذج الثانى : نموذج تميؤ الأملاح Hydrated salts:

هذا النموذج يعتمد على الأملاح التى تكون بللورات ملحية مائية Hydrated salt crystals ، هذه البللورات تحتوى على بعض جزيئات الماء التى تشغل مواقع هامة ضمن تركيبها البلورى The crystal structure مثل: كبريتات الصوديوم  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  وكربونات الصوديوم  $\text{NaCO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  وكبريتات  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  . بالإضافة إلى مركبات كيميائية أخرى عديدة ، مثل : الأملاح التى لا تكون بللورات مائية Not form Hydrated Crystals مثل كلوريد الصوديوم  $\text{CaCl}$ .

أيضا فإن الأملاح المائية ربما تتكون فى شكل بللورات بدون وجود الماء ، مثل : الانهيدرايت - كبريتات الكالسيوم غير المائية - وهذه تشغل أحجام أقل من الأملاح المائية .

والأملاح المائية قد تتضخم ببطء شديد وينسب متفاوتة لتماماً فى النهاية - بكل سهولة - كل الفراغات المتاحة داخل المسام الواسعة فى المواد، وينشأ عن ذلك ميكانيكة دفع Heave mechanism ذات فعالية كبيرة فى عمليات التلف .

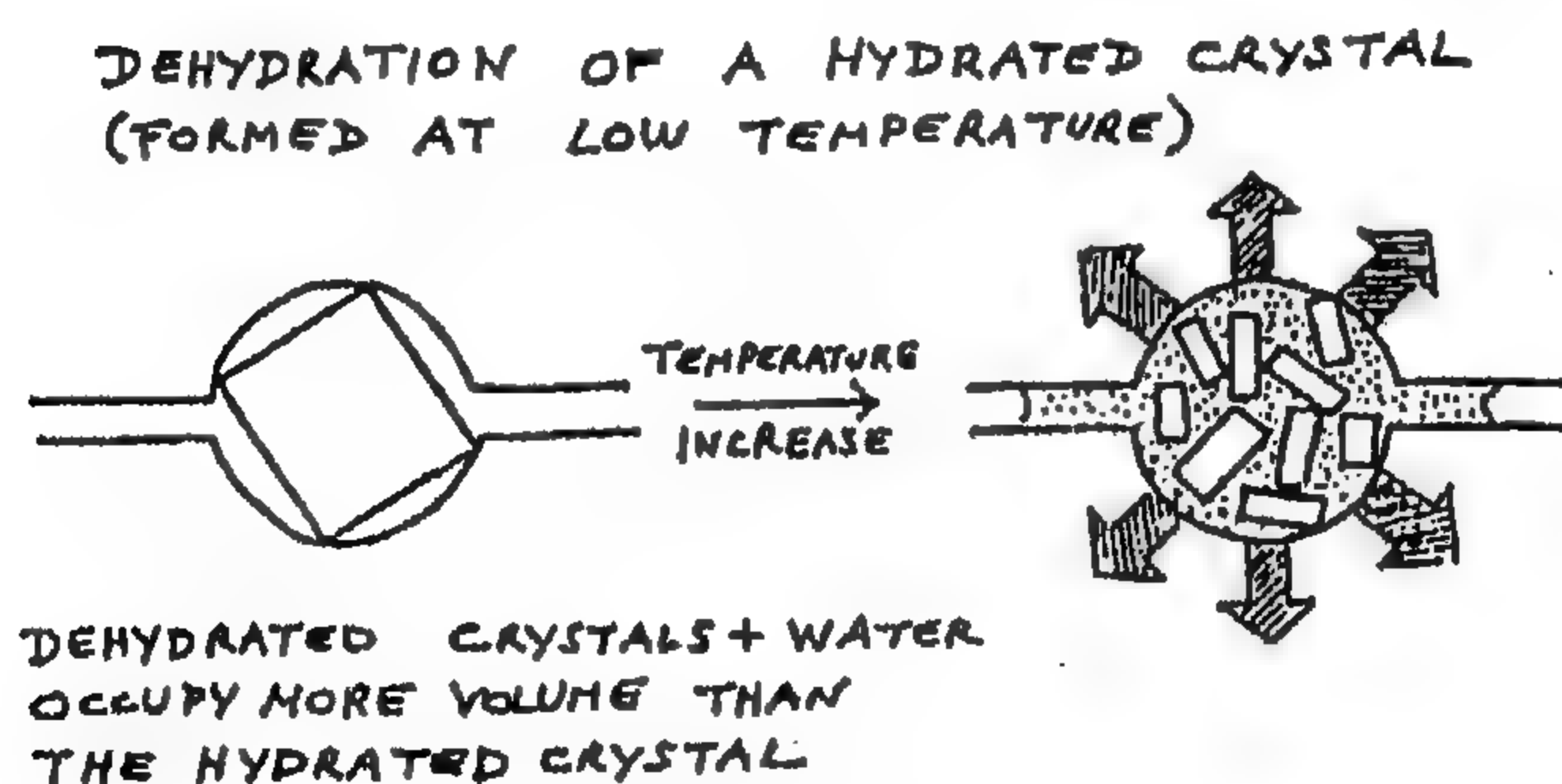
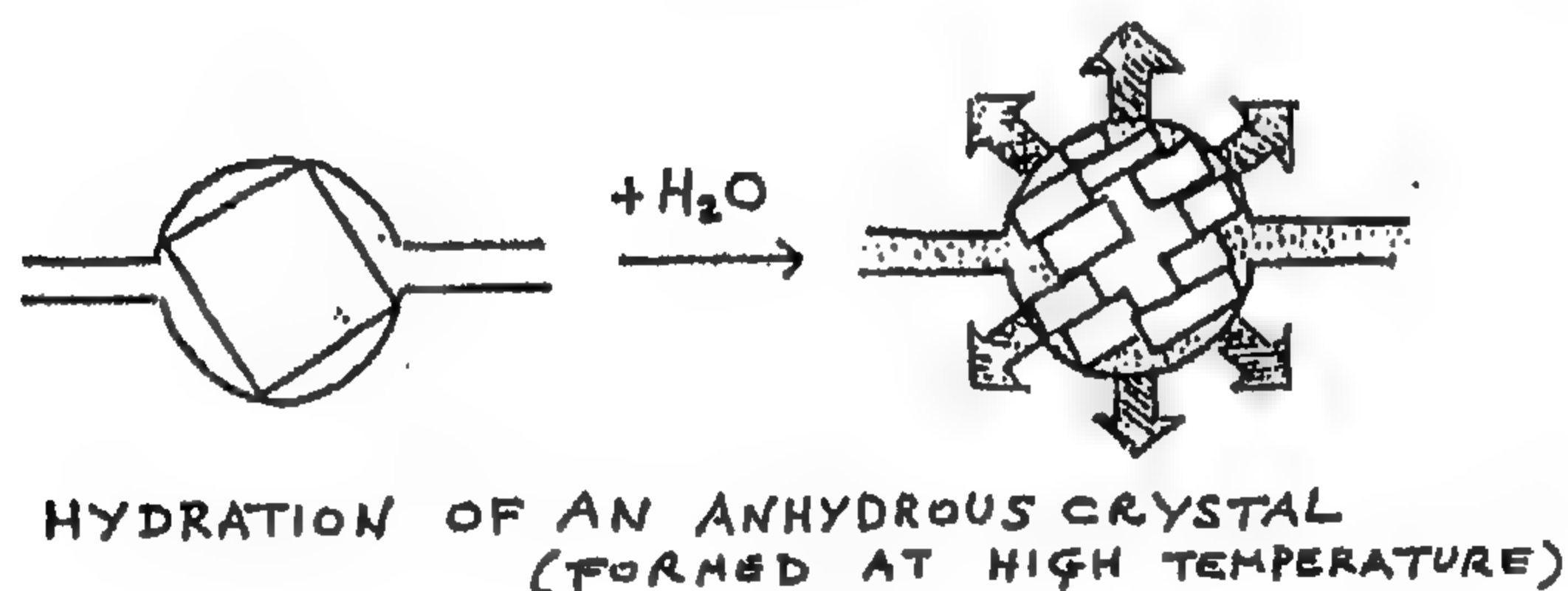
ومع ذلك فإن قدرتها الشخصية على خلق ضغوط تمزق Disruptive stresses تكون مشروطه بانتقالها إلى طور الانهيدرايت Anhydrite أو الأقل هدرته Less hydration . وهذا يعتمد على تأثير التغير فى حالة الجو المحيط بمواد البناء المسامية .

فمثلا : عندما تملأ البللورات المائية مسام المواد ترتفع الضغوط الداخلية، وعندما ترتفع درجة الحرارة ، وتتنخفض الرطوبة النسبية ، تتحول

الحالة المائية Hydrated للأملاح إلى الحالة الأقل مائيته  
Less hydrated تاركة بعض جزيئات الماء حرة .

ويلاحظ أن الحجم النهائي للبلورات الملحية تكون أكبر من البلورة  
الأصليه .

على الجانب الآخر فإن البلورات الملحية ، الأنهيدرايت أو الأقل  
هدرته، والتي تملأ المسام الواسعة ، من الممكن أن تنتقل إلى الطور المهدرت  
أو المائي، بواسطة إمتزاز الماء من المسام المحيطة . وتصبح هذه البلورات  
أكثر ضخامة ، وتضيف ضغوط أخرى ال الضغوط الموجودة أصلا بسبب  
تبلور هذه الأملاح . انظر الشكل رقم (٢٤)



شكل رقم (٢٤) يوضح

الضغوط الناتجة عن تكون بلورات الأملاح داخل مسام المواد



## - التآكل النقرى Alveolar Erosion:

التآكل النقرى نموذج من نماذج تحلل المواد المسامية التى تلعب الأملاح المتبلورة أهم حلقاته .

ويعتمد التآكل النقرى على حقيقة هامة تميزه ، وهى حدوث عمليات تآكل فى مناطق مميزة لتكون فى النهاية تجاويف عميقة أو نقر Deep cavities or Alveoles وذلك فى الأسطح غير المحمية ، فى الوقت الذى لا تتأثر فيه الأسطح الأخرى القريبة من مناطق التآكل .

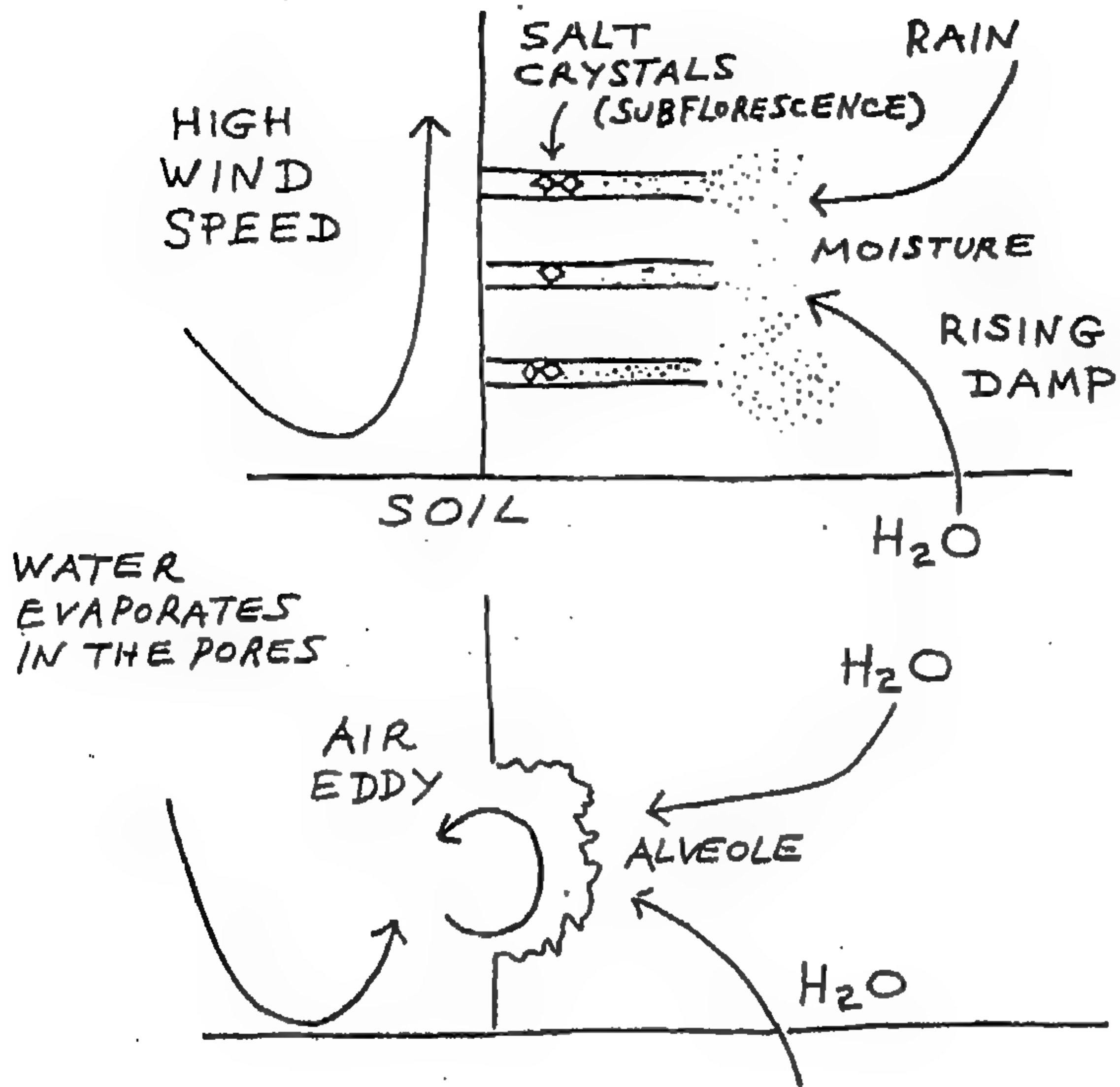
وتحدث عمليات التآكل النقرى دائما على الأسطح التى تتعرض للرياح الشديدة ، حيث تزداد دوره بخر الماء من هذه الأسطح .

فى مثل هذه الحالة لا تتكون طبقة رقيقة من الماء ، فى حالة السيولة ، على السطح الخارجى لمواد البناء ، لأن البخر يكون سريعا إلى حد كبير . كما أن معدلات الماء الذى يصل إلى السطح لتغذية البخر تكون غير كافية لذلك تظهر المواد وكأنها جافة ، إلا أن البخر يحدث فعليا تحت السطح فى المسام نفسها . ويزداد تأثير ضغوط تمزق بللورات الأملاح Disruptive stresses فى مناطق البخر ، ويبدأ سطح البخر فى التحلل بسرعة.

علاوة على ذلك يحدث تعجيل لعمليات التلف عندما تحدث فجوة فى السطح ، لأن الرياح تزداد سرعتها داخل هذه الفجوة بسبب دوامات الهواء كما يزداد البخر فى هذه المساحة النوعية . انظر الشكل رقم (٢٥)



## ALVEOLAR EROSION



شكل رقم (٢٥) يوضح

التآكل النقرى بفعل الرياح والأملاح المتبلورة

فى الماضى كان يعتقد أن الرياح هى السبب الأساسى فى تكوين النقر  
Alveole formation بسبب ظاهرة السف بالرمال Sand blasting التى  
تحمّلها هذه الرياح عند تحريكها .

لكن اتضح أن الرياح ليست العامل الأساسى ، وإنما هى عامل ثانوى  
يساعد فى زيادة التلف بواسطة النقر وأن العامل الأساسى فى هذا النموذج من  
التلف هو الأملاح المتبلورة . لكن الرياح تسبب نموذج آخر من نماذج التحلل  
يسمى : التآكل الهوائى Eolic erosion أو التآكل بالرياح .

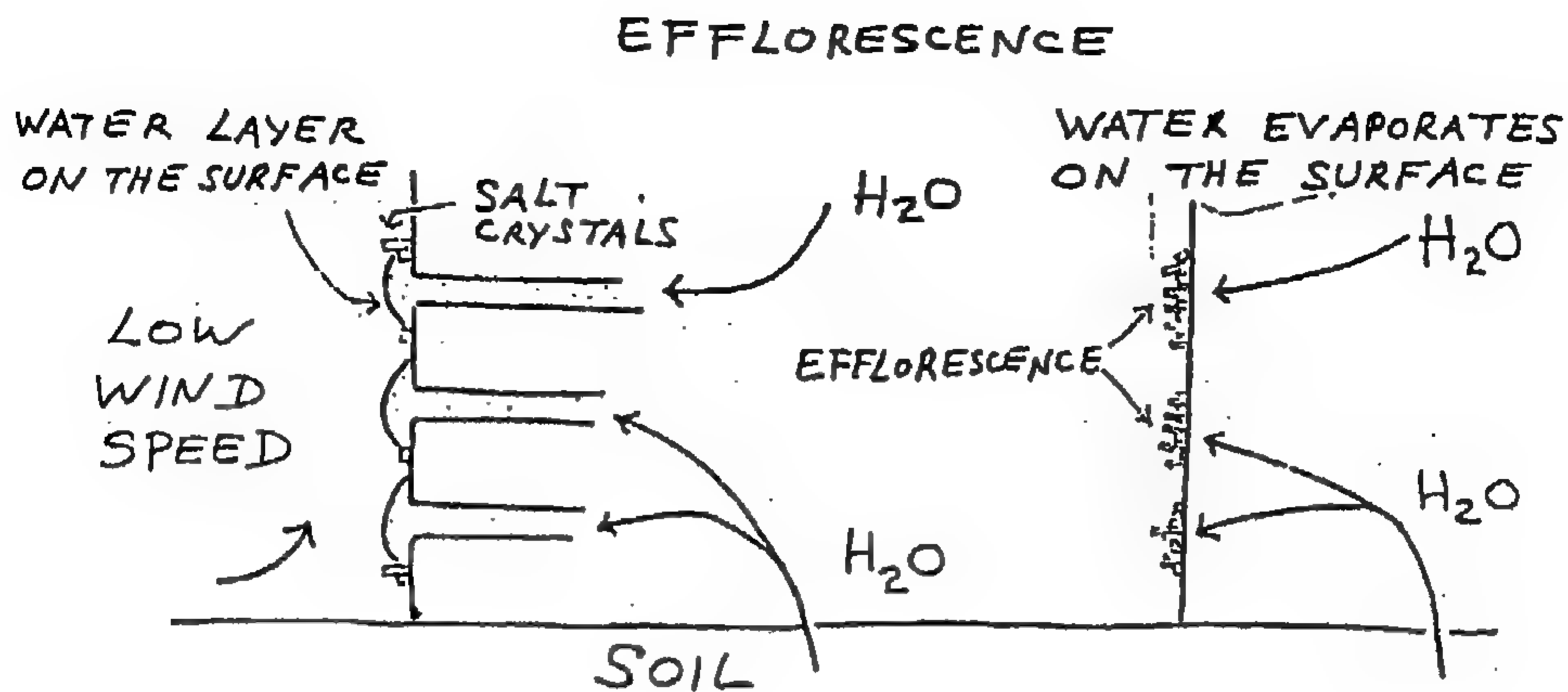
وقد يحدث أن يرى المرمم أثناء متابعته الدوربه للمبانى الأثرية  
المكشوفة ، الفجوات الناتجة عن التآكل النقرى ، ويقوم بعلاج هذه الفجوات  
علاجاً موضعياً عن طريق ملئها بمواد مانعة للماء  
Impervious to water وفى هذه الحالة للأسف تنتقل عمليات البخر إلى  
الأسطح الميطة فى المادة الأصلية ، والتى تبدأ بالتالى فى التحلل " لذلك يجب  
أن يكون العلاج شاملاً السطح كله " .

#### - تزهّر الأملاح Efflorescences :

تزهّر الأملاح عبارة عن : بلورات ملحية تتكون على أسطح المواد  
المسامية عندما يتبخر منها الماء ، لأن الماء يغذى هذه المسام بكميات كبيرة ،  
أو لأن سرعة الرياح تكون قليلة .

فى هذه الحالة فإن بلورات الأملاح تتكون من نقط - وبصفة أساسية  
- خارج المسام ، والتأثير المتلف لهذه البلورات يكون ضعيفاً أو قليلاً .

هذا الحالة موضحة فى الشكل رقم (٢٦) .



شكل رقم (٢٦) يوضح

تزهير الأملاح على أسطح المواد المسامية

- تأكل الكلابات الحديدية **Corrosion of Iron Cramps**:

تحلل حديد التسليح ينتج عنه زيادة في حجم المعدن ، لأن صدأ الحديد Rust أو الأكاسيد المائية Hydrated oxides سواء كانت كثيرة أو قليلة تشغل حجوم أكبر من حجوم المواد الأصلية .

ولو أن الحديد تم طمره imbedded في مواد البناء عند استخدامه كمادة تقوية أو تجميع Issemblage or Reinforcement فإن تأكل الحديد ربما يتأخر لعدة عقود . " العقد عشر سنوات " لأن الماء الزائد والأكسجين يصلان إلى سطح المعدن ببطء شديد إلى أبعد حد .

ومع ذلك فإنه لو بدأ بعض التآكل في الحديد ، فإن زيادة حجم الحديد ، بسبب ضغوطا داخلية ، وتتكون شروخ دقيقة في المواد المحيطة .

والنتيجة أنه يسهل وصول زيادة من الماء والهواء إلى سطح المعدن ، لذلك فإن عمليات التلف الخطيرة بعد أن تبدأ بصورة ضعيفة ، فإنها تزداد فجأة ، وفي وقت قصير قد تؤدي إلى نتائج مدمره .Catastrophic results. وتوجد على سبيل المثال ، أمثلة هامة للتلف بسبب استخدام حديد التسليم في المباني الأثرية والتاريخية في :

The temples of the Acropolis of Athens, the pantheon in paris and st. Paul within the walls in rome.

\*\*\*\*\*



الفصل الثالث  
العمليات الكيميائية  
Chemical processes  
التآكل Corrosion





تتطلب دائما التفاعلات الكيميائية وجود مياه لذلك فإن التآكل الكيميائي يكون محتملا فقط عندما تتبلل مواد البناء بالماء .

والمياه لا تشكل - بصفة أساسية - أحد عوامل التلف الكيميائي لمواد البناء الأثرية، وذلك لأن هذا التأثير المتلف للمياه يكون مرتبطا بمادة البناء الأساسية ، والنشاط الكيميائي ، وطاقة الإذابة إلا أن المياه تمثل خطر جد كبير كمصدر محتمل للضغوط الداخلية ، ولكن ليس في الغالب كعامل كيميائي.

وفي مناقشتنا للعمليات الكيميائية يكون من المفيد أن نميز بين المياه التي تأتي مباشر من الأمطار Rain water وبين المياه التي تترسب على سطح مواد البناء في شكل طبقة رقيقة Water films بواسطة عمليات التكاثف Condensation.

### ٣-١ - مياه الأمطار Rain water:

مياه الأمطار - غالبا - ماتكون حمضية ، لأن الهواء يحتوى على ثاني أكسيد الكربون والذي يذوب في الماء مكونا حمض كربونيك وهو حمض ضعيف جدا.



وفى مثل هذه الظروف فإن كربونات الكالسيوم والماغنيسيوم الموجودة فى بعض مواد البناء ، مثل : مون وملاط الجير ، والحجر الجيرى ، والرخام ، ربما تتحول إلى بيكربونات ، وتتحلل ببطء.

كذلك فإن منتجات السيراميك ، مثل : الطوب ، والبلاط، - على وجه الخصوص - التى تتكون أساسا من : سيليكات الكالسيوم والألومنيوم ، التى غالبا لاتذوب فى الماء ، بالإضافة إلى أن هذه المواد تتمتع بخاصية المنع أو الصد لمياه الأمطار Quite resistant to rain water لكن يجب أن نضيف أن هناك تفاعلات تتم ببطء بينها وبين المياه الحمضية غير معروفة جيدا حتى الآن.

على الجانب الآخر فإن الطبقات الزجاجية Glazes أو الطلاءات التى تستخدم فى زخرفة البلاطات ربما تكون غنية بالأكاسيد القاعدية Alkaline oxides لذلك فإن بعضها يكون قابلا للذوبان فى الماء الحمضى Soluble in acid water أو حتى فى الماء المتعادل .In neutral water

أيضا الأحجار الرملية ، تحتوى على بعض معادن السيليكات مثل : الميكا Micas والكلورايت Chlorites والفلسبارات Feldspars التى يحتتمل مهاجمتها بالماء فى نهاية المطاف . وعندما يحدث تفاعل بين هذه المواد والماء، قد يؤدي هذا التفاعل إلى نزع وفقدان بعض أيونات المعادن ، مثل : الكالسيوم والألومنيوم والبوتاسيوم والصوديوم . مع ملاحظة أن معظم الأحجار الرملية تبقى كما هى غير قابلة للذوبان فى الماء.

لكن في حالة وجود معادن طفلة Clay minerals فإنها تصبح في وجود الماء أكثر ليونة، وأكثر تضخمًا من المعادن الأصلية Much softer and bulkier.

بالإضافة إلى ذلك فإن الحجر الرملي عادة ما يكون أكثر مسامية ، وبالتالي ربما تتخلله مياه الأمطار إلى أعماق كبيرة، كما أن الماء يظل على اتصال دائم ، وربما لوقت طويل، مع المعادن المكونة له ، لذلك فإنه يظل رطبًا باستمرار ، خاصة مع وجود مياه التكاثف ، التي يكون لها دور أساسي في عمليات التلف .

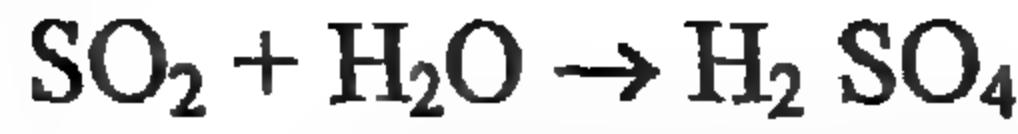
وبناء عليه فإن الطبقات السطحية ، وبسمك يصل إلى عدة ملليمترات قد تصبح طرية ومنتفشة أو منتفخة Softend and swollen مسببة تحلل شامل في الأسطح المعرضة .

بصفة عامة فإن معدلات عملية التآكل تكون قوية جدا في وجود الماء، وذلك يعتمد على مسامية المواد ونوع المعادن الموجودة بها .

أيضا فإن درجات الحرارة العالية تسبب تعجيل عمليات التآكل خاصة في المناخ الرطب الاستوائي Wet Tropical Climates .

### ٣-٢- التلوث الجوي Polluted Atmosphere :

يحتوى الجو الملوث في المناطق الصناعية في أوربا " أو أى منطقة صناعية أخرى في مصر مثلا .. مثل : شبرا الخيمة وحلوان " على كميات مختلفة من أكاسيد الكبريت الناتجة عن حرق الكبريت الداخل في الوقود وأكسدة ثاني أكسيد الكبريت يؤدي إلى إنتاج حمض الكبريتيك ، طبقا للمعادلة الآتية :



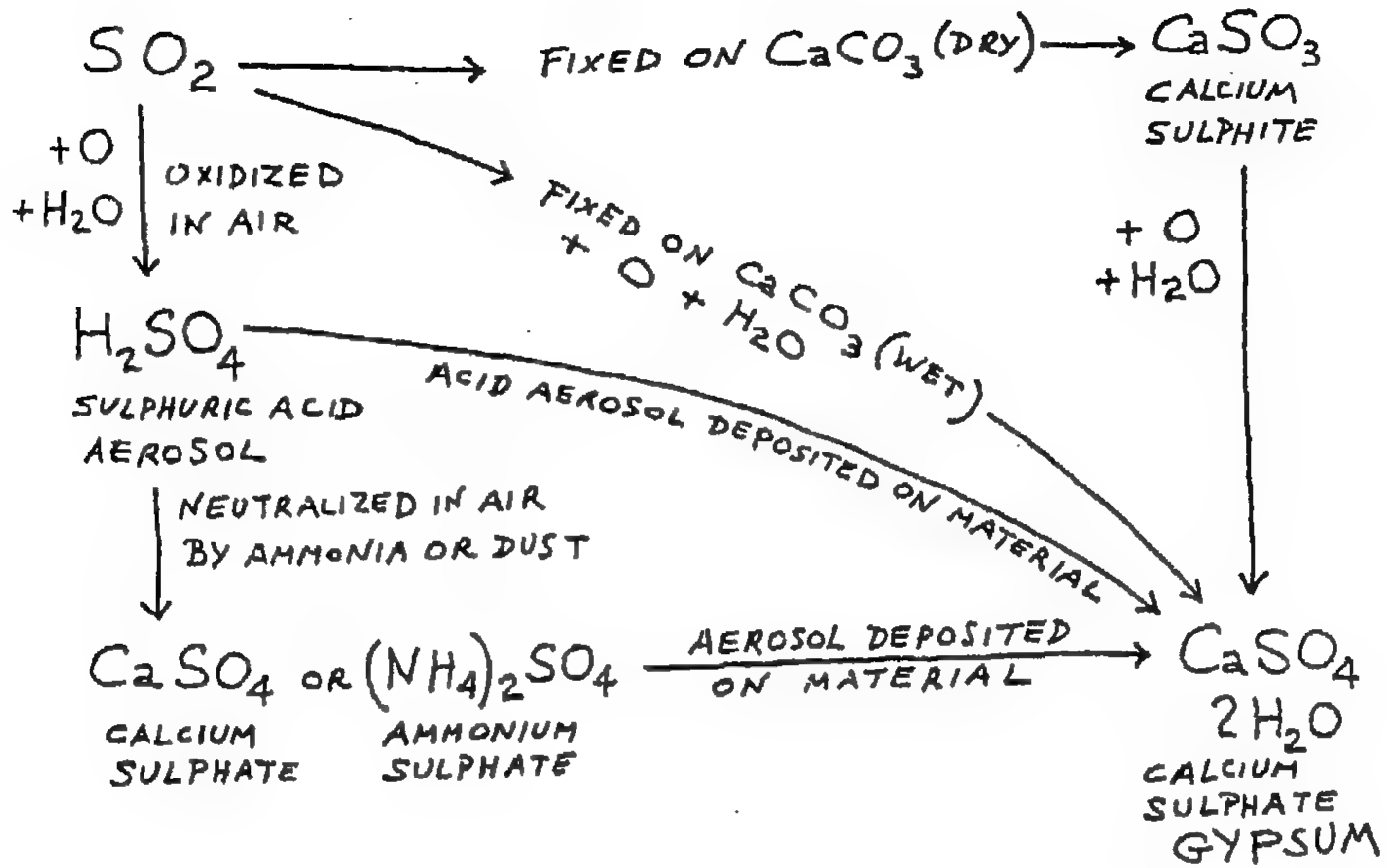
وحمض الكبريتيك حمض قوى ، على عكس حمض الكربونيك ، والماء الذى يحتوى على هذا الحمض يسبب تحلل العديد من المعادن مثل: الكربونات والسيليكات بمعدلات أسرع من الماء الذى يحتوى على حمض الكربونيك فقط.

وقد قام Winkler بحساب معدل تآكل الرخام فى المباني الأثرية ، عن طريق ملاحظة عروق الكوارتز Quartz veins ووجد أن سطح الرخام يتآكل بنسبة ١ مم لكل ٢٥ سنة.

" أى ١سم/٢٥٠ سنة وهذه نسبة فى رأى عالية جدا ، إذ أن ذلك يعنى أن البلاطات الرخامية التى تكسو جدران بعض المباني الأثرية ، والتى يكون سمكها فى الغالب ٢سم ، قد تنتهى وتصبح غير موجودة فى ظرف ٥٠٠ سنة".

وعلى كل حال فإن تأثير تلوث الهواء على مواد البناء معقد جدا ، وغير معروف لنا تماما ، وذلك بسبب وجود العديد من الملوثات التى دائما ماتكون موجودة إلى جانب ثانى اكسيد الكبريت . وبعض هذه الملوثات من الممكن أن تكون سببا فى إنتاج أحماض أخرى غير حمض الكبريتيك .. مثل: حمض الهيدروكلوريك ، وحمض النيتريك ، وحمض الهيدروفلوريك ، وهذه أيضا لها تأثير متهلف .

وفيما يلى رسم تخطيطى يوضح الطرق المحتملة التى من الممكن أن يهاجم بها ثانى اكسيد الكبريت مواد البناء المختلفة ، خاصة تلك التى تحتوى على مواد جيرية "ويؤدى فى النهاية إلى تلفها".



شكل رقم (٢٧) يوضح

الطرق المختلفة لمهاجمة غاز ثنائي اكسيد الكبريت

لمواد البناء خاصة الجيرية

ويجب ملاحظة أن الملوثات لو انتشرت في أحجام كبيرة من الهواء فإن محصلة التلوث تكون منخفضة. "على العكس من ذلك لو أن نطاق التلوث ضيق تزيد به نسبة الملوثات".

ويمكن تحديد نطاق التلوث عن طريق قياس كمية الملوثات الموجودة به ، وكذلك يمكن تحديده عن طريق الظواهر والأحوال الجوية . Meteorological factors

### ٣-٣ - عمليات البلل والجفاف Wet-Drying processes:

دائما تتغطى الأسطح المكشوفة من مواد البناء بواسطة طبقة رقيقة من المياه A film of water والتي تكون غالبا رقيقة جدا بحيث تسمح للمياه بالتسرب من فوق السطح إلى الداخل.

وتتكون هذه الطبقة الرقيقة من المياه بواسطة التكاثف ، أو بواسطة تساقط قطرات المياه العالقة في الهواء ، مثل : رزاز المطر Fine mist أثناء المطر ، أو الضباب Fog، والمياه في هذا الشكل قد تسبب العديد من التكنيات بصورة أكثر من فعل أو تأثير ماء المطر الذي يصطدم بالأسطح المعرضة ، لأنها غالبا ماتكون حمضية، وحاملة أو ناقله لكل جزيئات الملوثات الموجودة في الجو مثل : السناج Soot والغبار Dust ... الخ.

ونتيجة لذلك فإن ترسبات الشوائب من الجو، أو نواتج تفاعل الأحماض مع المياه قد تؤدي إلى تلفيات لا تمحى من أسطح المواد الأثرية.

أيضا فإن نقط المياه المتكثفة على أسطح مواد البناء عند تشبع الهواء ببخار الماء ، ربما تتخللها لأعماق مختلفة داخل المواد نفسها ، مستغلة في ذلك مسام المواد أو الشروخ التي تكونت بواسطة عمليات تلف سابقة ، ولكن هذه النقط المائية قد تعود مرة ثانية إلى السطح لكي تتبخر عندما تسود ظروف الجفاف، وتسمى هذه العملية دورة البلل والجفاف -Wetting-Drying Cycle.

ويمكن أن تحدث دورة الرطوبة (البلل) والجفاف عند تكرارها ، أيضا، بعض التلفيات ، بسبب مهاجمة الأحماض في حالة الرطوبة أو بسبب



تبلور الملوثات Crystallization of pollutants وتفاعلها مع أسطح مواد البناء في حالة الجفاف.

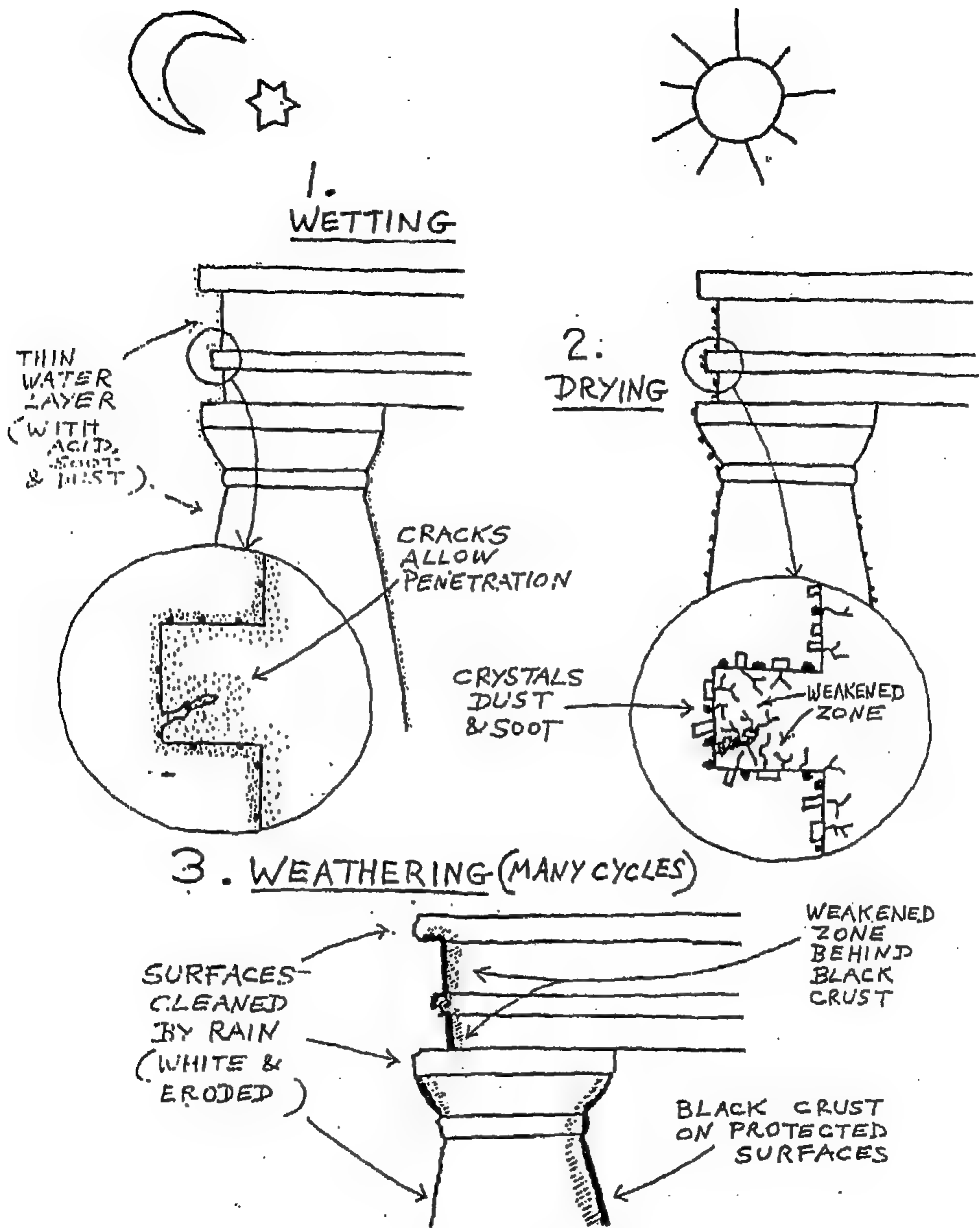
والأسطح التي تتأثر بعمليات الرطوبة والجفاف يمكن التعرف عليها بسهولة في المباني الأثرية ، لأنها تكون على شكل طبقات صلبة ترايبية من كثرة السناج والغبار Hard crusts, Soiled by Soot and Dust.

انظر الشكل رقم (٢٨).

هذه الطبقات نادرًا ما تكون صلبة وغير منفذة للماء، وذلك لأن الشروخ العرضية Cracks traverse تجعلها باستمرار لا تشكل طبقة واقية Protective layer.

هذا على خلاف ما يذكره بعض المتخصصين من "أن طبقة الباتينا Patina تشكل طبقة واقية لأسطح مواد البناء ، إذ أن التحلل ربما يستمر خلف هذه الطبقة، والتي غالبًا ما تشكل طبقة كاذبة فوق جزء مفكك غير متماسك من المادة ، وقد يتم التلف بسبب دورات الرطوبة والجفاف، بسرعة ، تحت المظهر الخادع The deceptive apperance للسطح المحفوظ جيدًا، والمغطى بطبقة باتينا سوداء A dark patina .

وعلى كل حال فإننا نستطيع تقييم حالة تأثر السطح التي تتم بواسطة عمليات التجوية ، انظر الشكل رقم (٢٨)، خاصة عمليات التكاثف وأيضا دورات الرطوبة والجفاف عند اختبار السطح بواسطة النقر أو الضغط عليه Tapping ، وكذلك عن طريق جمع عينات منه وفحصها بالوسائل العلمية الحديثة .



شكل رقم (٢٨) يوضح  
تأثير دورات البلل والجفاف وأيضا التجوية  
على أسطح مواد البناء

وتعتمد مقاومة مواد البناء المسامية لدورات البلل (الرطوبة) والجفاف

على :

\* مسام مادة البناء The pore structure.

\* مقاومتها الميكانيكية The mechanical strength.

فقد ثبت أن المواد ذات المسامية الأقل Low porosity وذات المقاومة الجيدة للشد Good tensile strength تكون أكثر مقاومة لهذا النوع من التلف الحادث بسبب دروات الرطوبة والجفاف.

كما ثبت أيضا أن الطوب المحروق حرقا جيدا والبلاطات تقاوم فعليا عمليات التلف بسبب دورات الرطوبة والجفاف في حين يتأثر السيراميك غير جيد الصناعة باستمرار هذه الدورات .

كما أن معظم الأحجار الجيرية ، والأحجار الرملية تتأثر بعمليات التلف الناتجة عن دروات البلل والجفاف، بالإضافة إلى المون الجيرية .

هذا مع العلم أن مواد البناء قليلة المسام تنتمي إلى تلك المجموعات التي يمكن أن تظهر مقاومة جيدة لعمليات التلف بصفة عامة ، مثال ذلك : حجر Istrian وهو حجر جيري دقيق البلورات ، قليل المسام .

أما الرخام الأبيض فيتأثر بصورة مدهشة بواسطة عمليات التجوية ، لأنها تصبح أكثر عداوة Progressively وتصل إلى أعماق كبيرة في سطح الرخام ، بسبب مساميته العالية الناتجة عن القدم Ageing وأيضا بسبب الشروخ الداخلية التي تحدث في الرخام بسبب دورات الحرارة Thermal cycles .

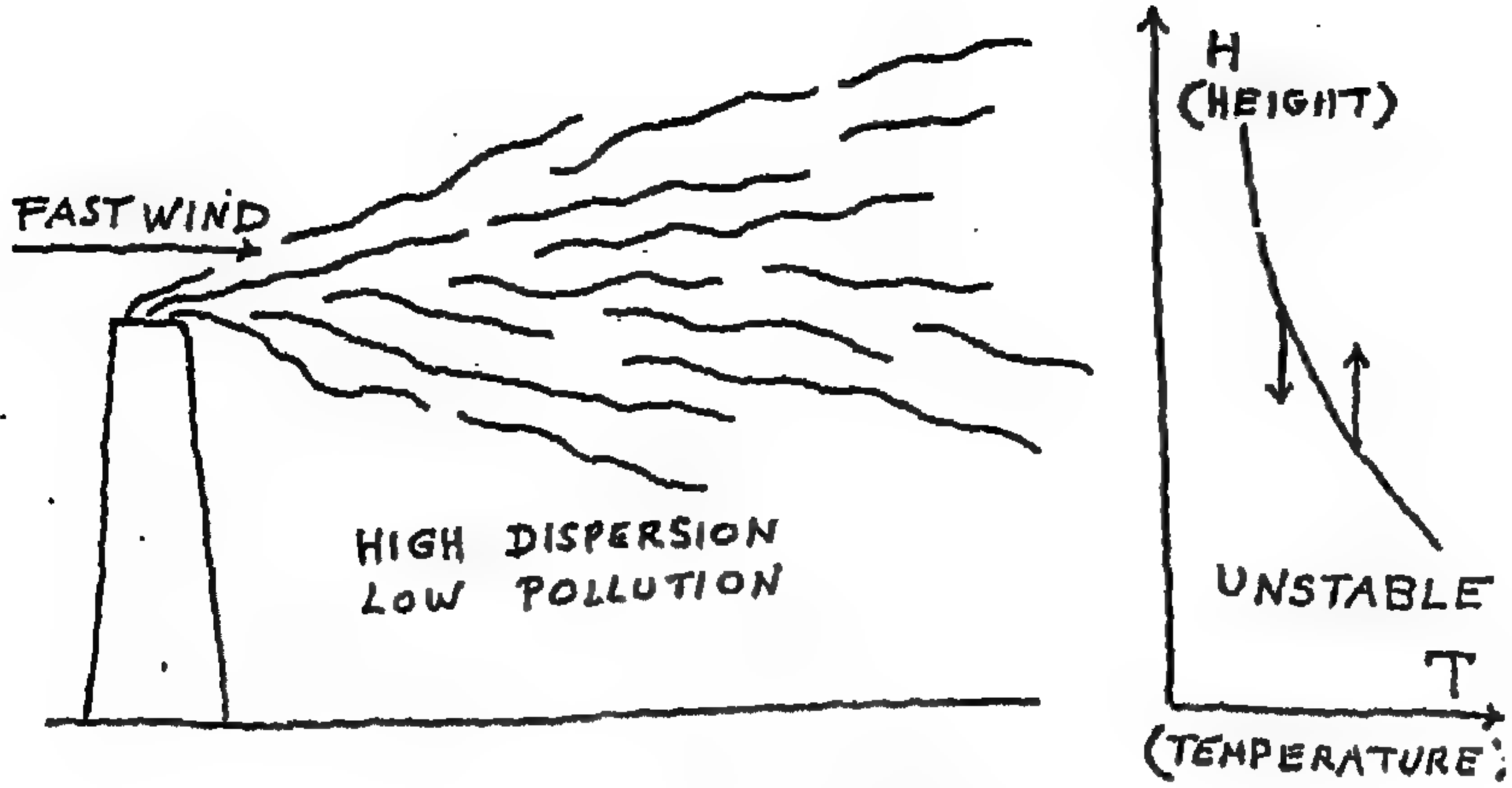
ويجب أن نعلم أن مقدار المسامية والتماسك الداخلى لأى مادة يعتمد فى الواقع على تركيبها الكيميائى .

وقد لوحظ أنه فى كل أنواع الحجر المستخدم فى البناء توجد طبقات مقاومة للتلف Resistant beds وأخرى قليلة المقاومة فى حالة تبادل مع بعضها داخل النوع الواحد من الحجر المستخرج من محجر معين أو من نفس المحجر The same quarry " ولكن لاتوجد طبقات ضد التلف أو تستعصى على عمليات التلف " .

### ٣-٤ - علم المناخ وتلوث الهواء Air Pollution Climatology :

يمكن حساب تلوث الهواء عن طريق حساب كمية الملوثات المنتجة، وأيضا عن طريق رصد عوامل التقلبات الجوية . وبصفة عامة فإنه لو انتشرت الملوثات فى حجم كبير من الهواء فإن المحصلة النهائية تكون ضعيفة.

" وهذا يعنى أنه إذا كانت الرياح شديدة مثلا فإنها تساعد على انتشار الملوثات فى أحجام واسعة من الهواء مما يقلل نسبة التلوث ، أى أن نسبة التلوث تتناسب عكسيا مع حجم الهواء " انظر الشكل رقم (٢٩).

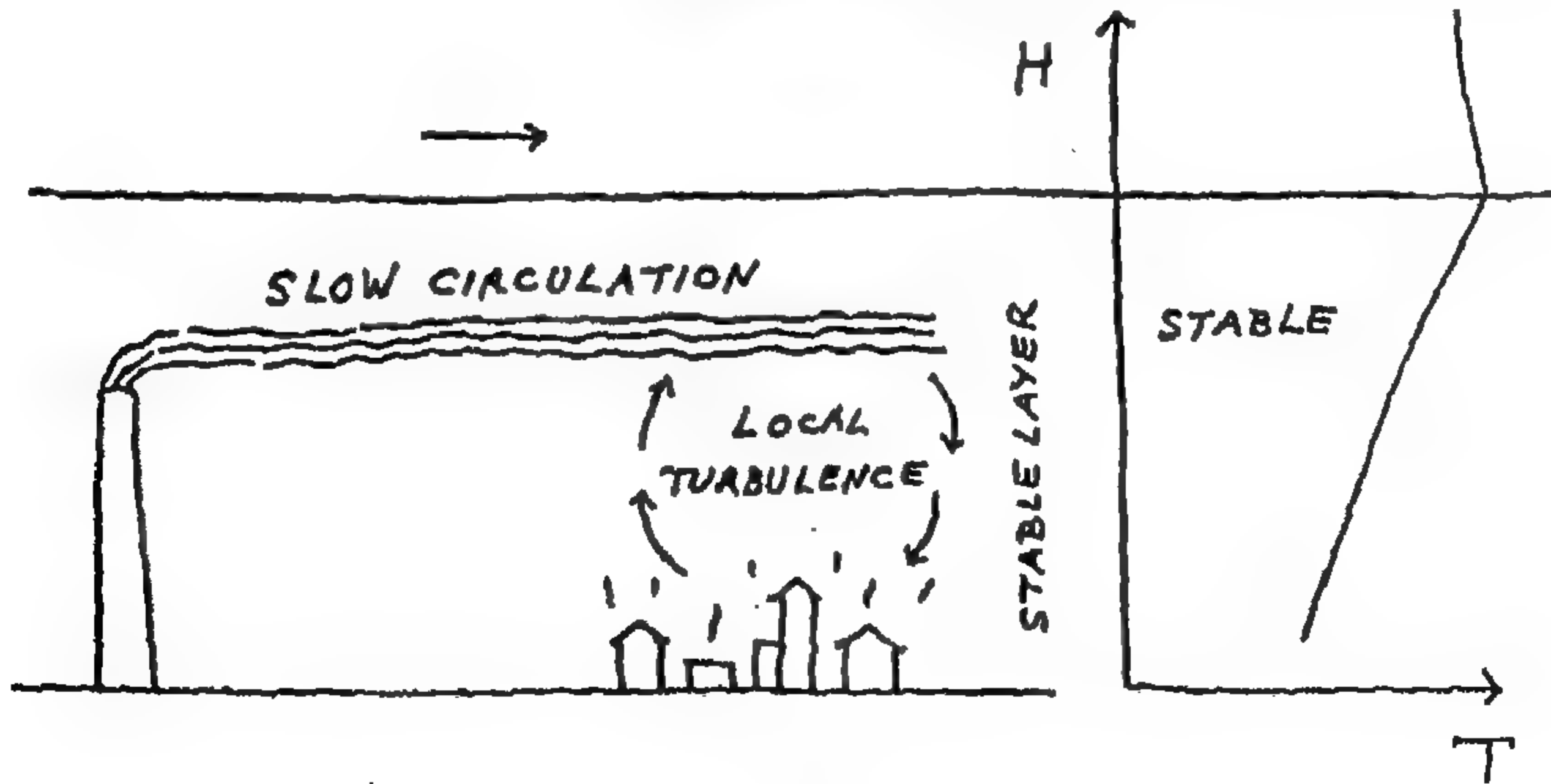


شكل رقم (٢٩) يوضح

فعل الرياح السريعة على الملوثات الناتجة عن المصانع

وعادة في الغلاف الجوي تقل درجة الحرارة كلما ازداد الارتفاع .  
وفي مثل هذه الحالات يكون الهواء غير مستقر لأن الهواء الساخن يتجه نحو  
الارتفاع فوق الهواء البارد.

في ليالى الشتاء ، بالقرب من الأرض ، تتكون طبقة من الهواء  
تزداد درجة حرارتها بالارتفاع ، وفي مثل هذه الحالات يستقر الهواء ، لأن  
الهواء البارد يتجه نحو البقاء في الطبقة السفلى .. هذه الحالة تسمى :  
الانقلاب الحرارى Thermal inversion.

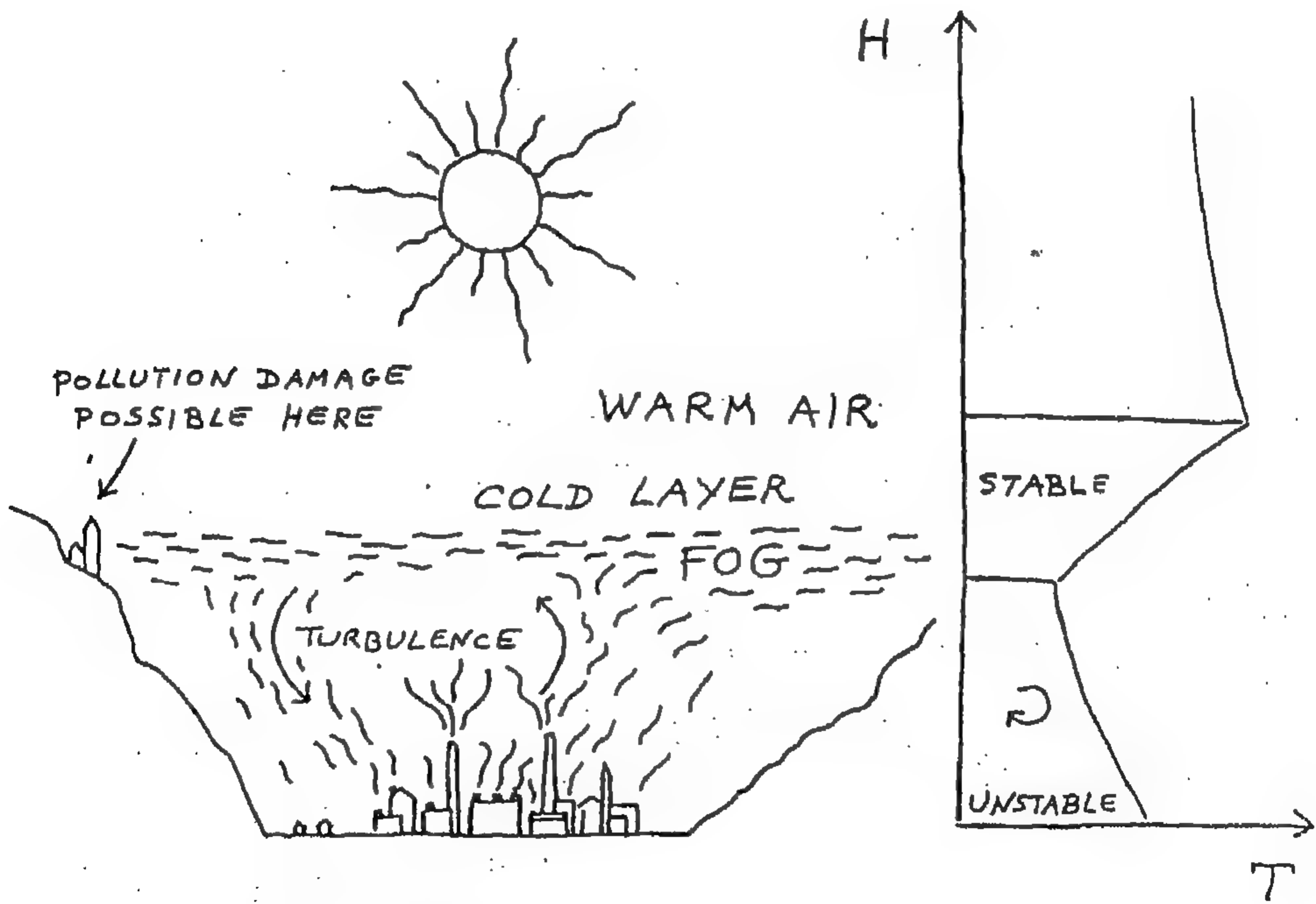


شكل رقم (٣٠) يوضح

ظاهرة الانقلاب الحرارى

فى مثل هذه المناطق تكون دورة الهواء criculation of air عادة منخفضة، والملوثات لا تنتشر "أى تتركز فى نطاق التلوث وتتجه نحو الانتقال إلى ارتفاع ثابت وتستقر ولكن ربما تعود ثانية إلى الأرض عن طريق مناطق الاضطراب المحلى Local turbulence التى تحدث بسبب الأسطح الدفينة Warm surfaces مثل المنازل المدفئة Heated Houses.

و على سبيل المثال تحدث حالات التلوث المرتفعة فى الأودية فى الشتاء ، عندما يحدث الانقلاب الحرارى فى المناطق ذات الضغط العالى ، وذات سرعة رياح منخفضة ، وذات طقس معتدل . انظر الشكل رقم (٣١).

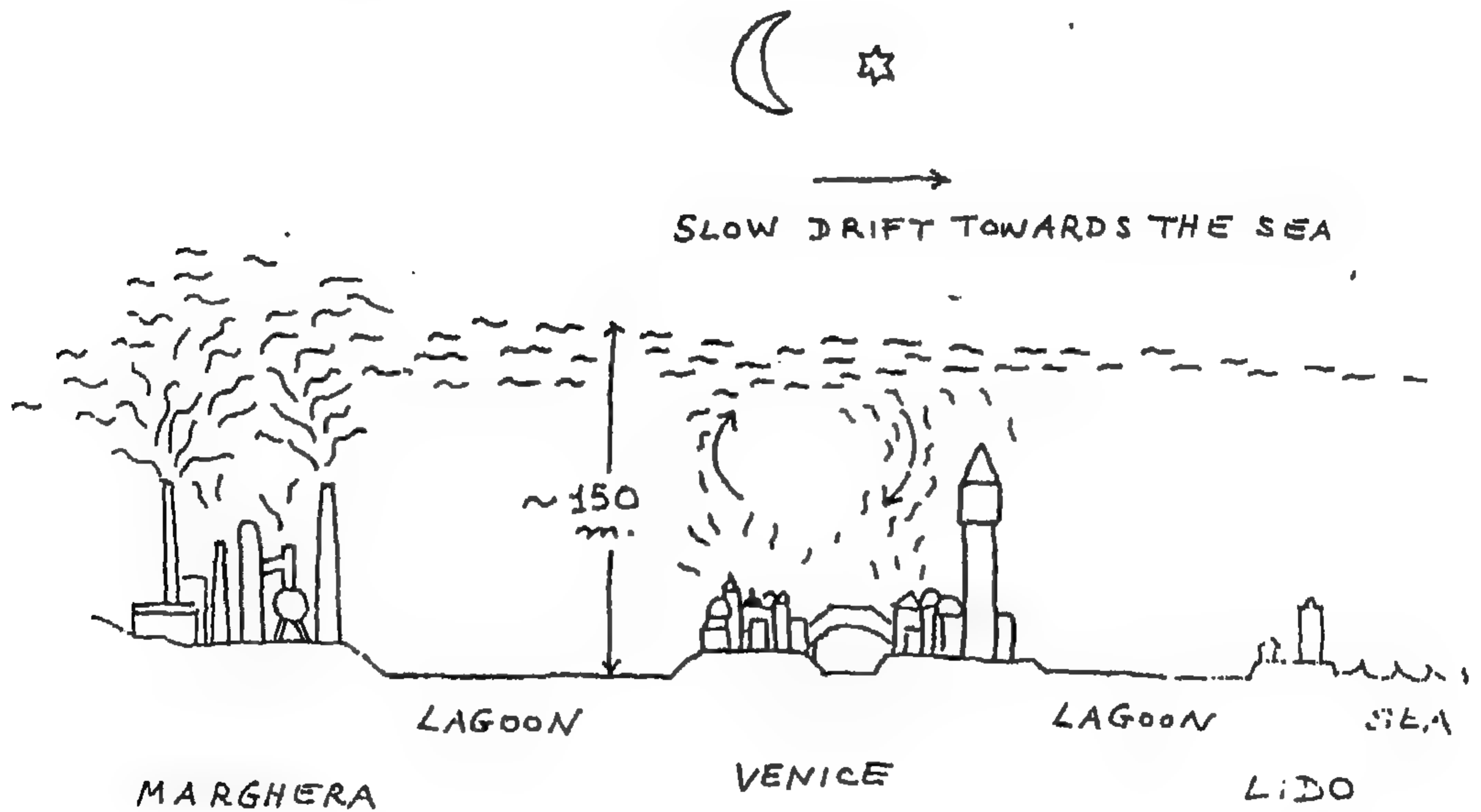


شكل رقم (٣١) يوضح  
الانقلاب الحرارى فى الوديان فى فصل الشتاء فى الصباح



وهناك حالة خاصة تحدث في فينيسيا Venice عندما يحدث تلوث عن طريق المصادر المحلية Local sources مثل : نظم التدفئة في المنازل . ومصدر آخر هو الانتقال Transport أى انتقال الملوثات من المناطق الصناعية مثل : مدينة Marghera عندما يحدث انقلاب حرارى .. وغالبا ماتحدث هذه الظاهرة في الخريف والشتاء .

وفى الشتاء بصفة خاصة تكون مدينة فينيسيا أدفا من البحيرة المتصلة بها ، ويحدث فوقها ظاهرة الاضطراب المحلى Local turbulence والتي غالبا ماتكون بسبب ظاهرة الانقلاب الحرارى . انظر الشكل رقم (٣٢).



شكل رقم (٣٢) يوضح  
مدينة فينيسيا فى ليلة شتاء صافية



الفصل الرابع  
التلف البيولوجى للمواد المساميه  
**Biodeterioration of Porous Materials**



#### ٤-١ - البكتريا والفطريات Bacteria and Fungi:

تولد العديد من أنواع البكتريا الطاقة اللازمة لأنشطتها الحيوية من التفاعلات الكيميائية غير العضوية Inorganic chemical reactions بعمليتي الأكسدة والاختزال التي تمتلك القدرة على إحداثهما. وقد تؤدي هذه التفاعلات إلى تكون أحماض قوية أو ضعيفة، تؤدي إلى تآكل أو تحلل مواد البناء المسامية التي تتأثر بهذه الأحماض.

فمثلا : بكتريا دوره الكبريت The bacteria of the sulphur cycle المعروفة باسم Thiobacilli هذه البكتريا تستطيع انتاج حمض الكبريتيك من الكبريت أو الكبريتيدات أو حتى من ثنائي اكسيد الكبريت ، خاصة عند وجود اعداد ضخمة من بكتريا الكبريت على سطح المواد ، تزيد عن ١٠٠٠٠ /جرام ، والدليل على ذلك بعض المباني فى ضواحي مدينة باريس مثل مبنى Angkor rat حدث فيها تآكل لأسطح بعض المواد ، وقد أثبت الفحص المجهرى للأحياء الموجودة على هذه الأسطح ، أنها عبارة عن مستعمرات لبكتريا الكبريت مما يفسر احتمال وجود التآكل المصحوب بتكون كبريتات الكالسيوم Calcium sulphate .

وهناك افتراض مشابه بالنسبة لبكتريا دورة النتروجين The Nitrogen cycle التي تنتج حمض النيتريك، هذا الافتراض لم تثبته نتائج التحليلات الإيجابية فى الدراسة الفعلية لحالات التلف.

كما أنه يوجد أنواع أخرى من البكتريا والفطريات تستمد طاقتها من أكسدة المواد العضوية ، وتنتج الأحماض العضوية كنتاج نهائى للتفاعل ، وحمض الأو كساليك Oxalic acid هو واحد من هذه الأحماض.

هذه الحقيقة قد تساعد فى تفسير عديد من اكتشافات أو وجود اكسالات الكالسيوم بين المواد الموجودة فى القشرة السطحية على الأحجار القديمة In surface crusts over ancient stones وعموما فليس سهلا أن نقدر أهمية مثل هذه العمليات الميكروبيولوجية Microbiological processes فيما يتعلق بالتحلل الكيميائى والفيزيائى للمواد .

ومن المرجح أن تعاوننا مستمرا يحدث بين هذين النوعين من عمليات التحلل فيما يعرف بالتلف الفزيوكيميائى Physico-chemical deterioration كما أن التلف الفزيوكيميائى يفتح الطريق أمام المستعمرات البيولوجية Biological colonization التى تلقى حافزا إضافيا من خلال ما تنتجه من الأحماض الإرتكاسية (النشطة) Reactive acids .

#### ٤-٢- الطحالب Algae:

تهاجم الطحالب باستمرار مواد البناء فى الأجواء شديدة الرطوبة أو فى الأقاليم ذات المناخ الاستوائى ، مثل Berobudur & Jara أو كهوف روما ، مثل Lascaux & Domus Aura ونادرا ما تتغلغل الطحالب فى عمق مواد البناء ، وبالرغم من ذلك فإنه تم الإستدلال على نوع من الطحالب يتقب الحجر ، ويسبب انتفاخ وانفلاق الصخور Swelling & bursting of the Rock فى إقليم Borobudur \.



إلا أن التلف الأكثر شيوعا الذى تسببه الطحالب النباتية هو تحلل الأسطح Deterioration of surface ويكون هذا التحلل خطير ، ويحدث أضرارا بالغة ، إذا كانت أسطح المواد منحوتة أو مرسومة عليها Painted or carved surfaces.

وتحتاج الغالبية العظمى من الطحالب إلى الطاقة الضوئية للقيام بوظائفها الحيوية ، لذلك نجد أن هذه الطحالب تنمو فى الكهوف غالبا على الأسطح المعرضة للضوء فقط Only on illuminated surfaces .

ويجب ملاحظة أنه بالإمكان السيطرة على الإصابة بالطحالب عن طريق عمليات التنظيف والتعقيم بالمطهرات ، مع العلم أن فعالية المطهرات تستمر لفترة محدودة لذلك فإن العناية بالمواد الأثرية فى الأجواء الرطبة يجب أن تكون مستمرة ودائمة .

ويجب إدراك أن بعض المواد المصنعة والمستخدمة فى العلاج أو فى إيادة هذه الطحالب قد تكون قلوية ، ويحتمل أن تكون أملاحا قابله للذوبان ، أو قد تسبب تغيرات فى اللون الطبقة السطحية للمواد الأثرية.

#### ٤-٣ - الحزازات Lichens :

الحزازات أو الاشنيات نتاج إتحاد الطحالب والفطريات . وتنمو الحزازات نموا سريعا على مواد الآثار ويتسع انتشارها على الأسطح الخارجية.

وبالرغم من هذا فإن أنواعا عديدة منها لاتستطيع أن تحيا فى الأجواء الملوثة .

أما الحزازات القشرية البيضاء Crustaceous فهي تختلف قليلا عن الحزازات التى تنمو على السطح، إذ أن نموها قد يمتدالى بضع ملليمترات داخل مسام مواد البناء وتعمل على تحللها عن طريق إنتاج الأحماض

العضوية ، مثل : حمض الأوكساليك ، وتظهر بعض الحزازات قدرة أقل على اختراق مواد البناء .

وعموما فإن التلف الناتج عن نمو الحزازات يستفحل ببطء ، ولكن تأثيره المشوه قد يكون شديد الخطوره ، خاصة على الأسطح المزخرفة أو المرسوم عليها Painting or plastic decorative وليس سهلا تنظيف الأسطح المصابة بالحزازات بأعداد كبيرة ، كما أن الوقاية من الإصابة بالحزازات يتطلب عناية دائمة .

وقد أحرز مؤخرا بعض النجاح في إزالة الحزازات القشرية عن طريق إضافة الهلاميات القاعدية Basic jellies .

#### ٤-٤ طحالب المستنقعات Moss:

بإمكان طحلب المستنقعات إحداث تمزق محدود في سطح مواد البناء، حتى عمق سنتيمتر واحد أو أكثر ويبدو أن هذا الطحلب يفضل النمو على الأسطح القلوية ، مثل : خرسانة الأسمنت أو مون الجير.

وقد لوحظ في بعض الأحيان نموات لطحالب المستنقعات على أسطح الأحجار الموجودة قرب الأماكن التي استخدم فيها خرسانة الأسمنت للتقوية .

#### ٤-٥ النباتات العليا Superior plants:

قد تسبب جذور الأعشاب والشجيرات أو الأشجار تمزقا في مواد البناء حتى لو كانت المباني تبعد قليلا عن هذه النباتات . ويفشل التحكم في عمليات تدهور المباني بسبب الجذور بدون وضع نظام صيانة دورية لهذه المباني .

لذلك تظل عمليات الصيانة الدورية للمباني الأثرية ضرورية جدا خاصة في حالات المباني المهجورة أو شبه المهجورة .  
Semi-abandoned structures

الفصل الخامس  
الاهتزاز Vibration



## ٥-١- مقدمة Introduction:

يحدث الاهتزاز بسبب حركة النقل الثقيل Traffic والقطارات Trains والماكينات Machinery أو صدى الصوت Sonic boom ونتيجة ذلك يتناوب في عناصر المباني إجهادات شد وضغط سريعة ومتتابة، يكون لها تأثيرات خطيرة في العناصر المتشابكة ليس من السهل تحليلها على وجه الدقة .

ونظريا هناك حالات متعددة تسبب تلف خطير أو انهيارات للمباني، أمكن تفسيرها أو ارجاع اسبابها إلى الاهتزازات الناتجة من حركة المرور . والتجارب التي تمت في الماضي - من سبعين سنة - استطاعت حساب الاجهادات التي حدثت بفعل الاهتزازات في المباني ، وقام العلماء بتعريفهما ، ومعرفة حدود الأمان لهذه المباني .

وفي حالات كثيرة ثبت أن الإجهادات قد تحدث بسبب تتابع نماذج من الاهتزازات حدثت بفعل توالي حركة المرور السريع . وإن كان السبب الأخير غير كاف لإحداث التلف في المباني لو أخذ وحده في الاعتبار .

ومع ذلك لو اعتبرنا ضغط التردد مركبا من أنواع أخرى من الضغوط التي تؤثر على عناصر البناء مثل : الأحمال ، والاجهادات البيئية ، فإننا يجب أن نوافق على أن إجهادات الاهتزاز يمكن أن تسبب زيادة في معدلات تحلل مواد البناء .

"وبناء على ذلك نرى أن الضغوط الناتجة عن الاهتزازات تشترك مع ضغوط أخرى ناتجة عن عوامل أخرى.

مثل : زيادة الأحمال على عناصر الإنشاء، فى إحداث التلف الجزئى أو الإنهيار الكلى الكامل للمباني الأثرية".

وعموما فإن عوامل تعجيل تحلل المباني الأثرية يصعب قياسها.. وتبقى مشكلة تقسيم هذه العوامل صعوبة الحل .. وجزئيا يمكن أن نسمح بحدود للاهتزازات قد تكون آمنة بالنسبة للمباني ذات القيمة التاريخية .

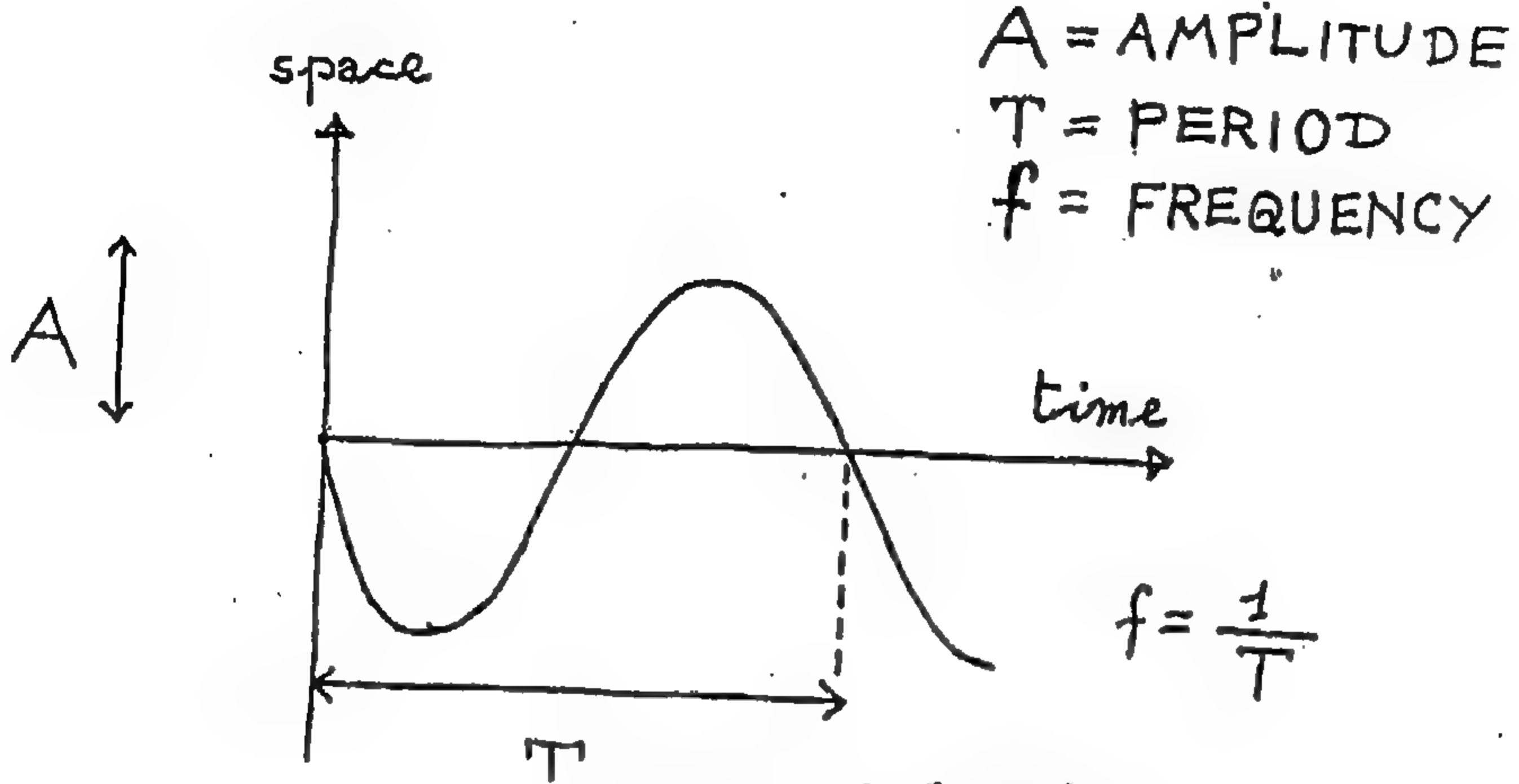
ويجب أن نعلم أن الحد الأقصى المسموح به لإجهادات التردد ، يؤثر على المباني عن طريق إشترائه مع الإجهادات الأخرى ، واتصاله بهما ، وتكون النتيجة نسب تحلل معتدلة Tolerable deterioration rate هذه النسب يمكن التحكم فيها بواسطة عمليات الصيانة الدورية المستمرة .

مثل هذا الافتراض مرتبط بالحد الأقصى المسموح به للاهتزاز طبقا لحالة المبنى، ونظام الحماية المقترح أو الذى يمكن تصوره للمباني فى المستقبل .

## ٥-٢ - قياسات وتعريفات : Definifion & measurements

الاهتزاز عبارة عن حركة تبادلية لجسم متوازن على جانبيه جيئه

وذهابا . انظر الشكل رقم (٣٣).



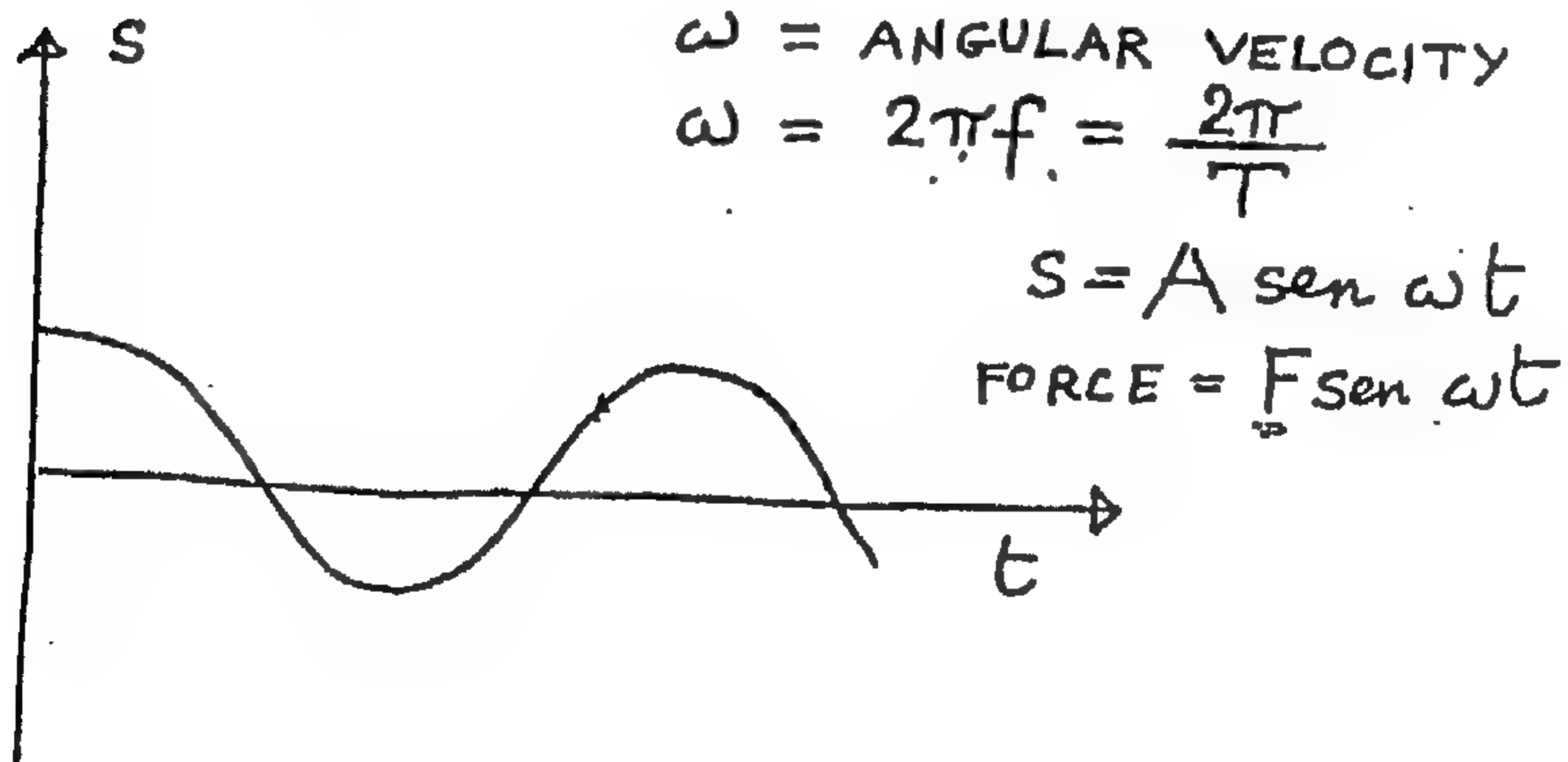
شكل رقم (٣٣) يوضح

حركة الاهتزاز

معظم الاهتزازات يمكن وصفها تقريبا بمنحنى جيبي sinusiodal

curve واحد ، أو باتحاد عدد من المنحنيات الجيبية . وبعدئذ فإن مكان الجسم

والقوة المؤثرة عليه يمكن حسابها بواسطة المعادلات الآتية :





علما بأن :

$A =$  السعة ( سعة الذبذبه )

$T =$  الزمن ( زمن التردد )

$f =$  التردد

$w =$  السرعة الزاويه

$s =$  المسافة

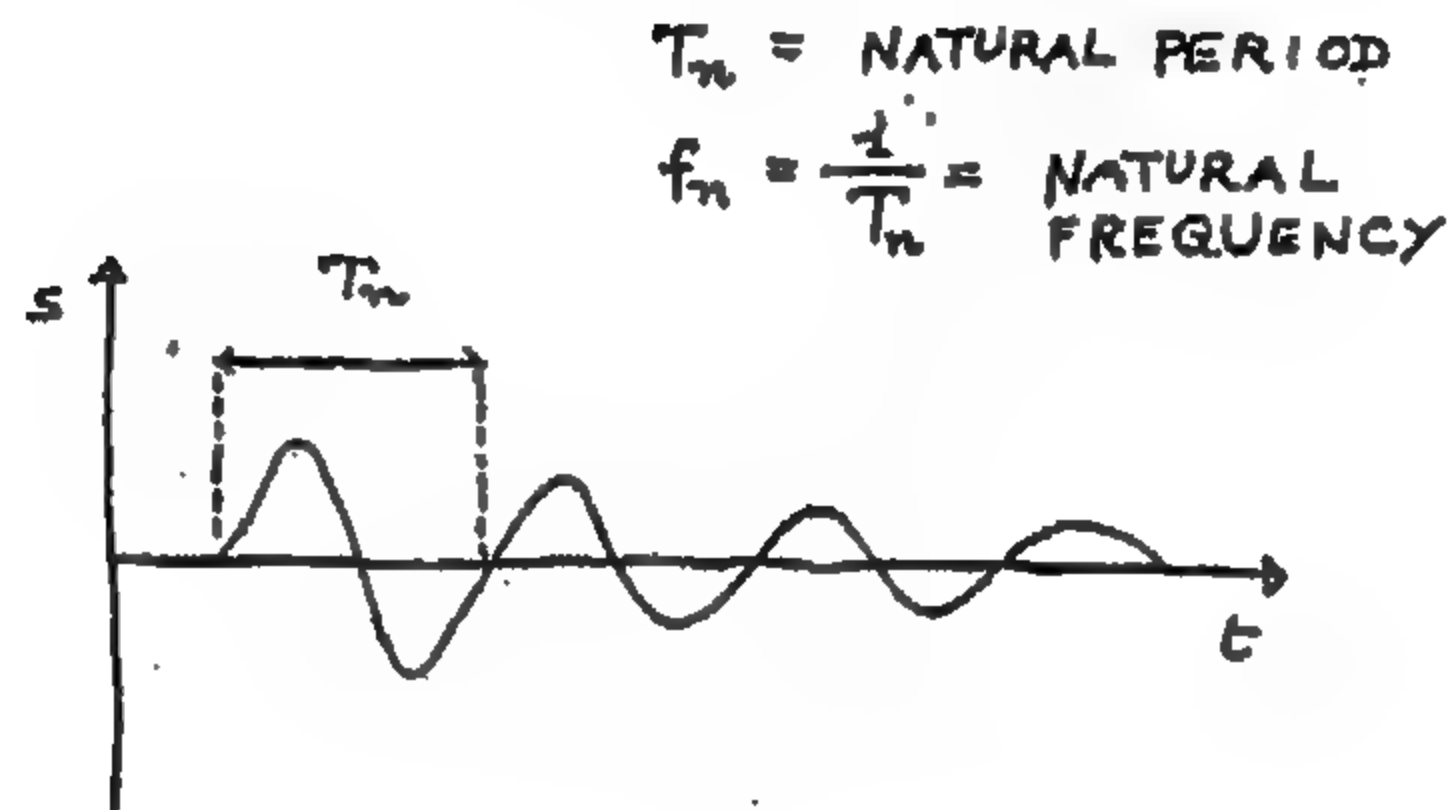
وقد تحدث الاهتزازات أيضا نتيجة بواعث فردية Individual impulses مثل: التفجيرات Blast " التي تحدث أثناء الحروب ، أو التفجيرات النوويه ، أو تفجيرات المحاجر وآلات دق الخوازيق أو الحفر Pile driving " مثل: تلك الآلات المستخدمه في الحفر لاستخراج البترول أو عمل خوازيق عميقة للكشف عن المياه الجوفية " وهذه تسبب اهتزاز المباني مع ترددها الطبيعي (Fn) Natural frequency الناتج عن تشغيلها " ويكون إهتزاز المباني عكس الزمن الطبيعي (Tn) Natural period للتردد.

" بمعنى أن التردد الطبيعي يساوى مقلوب الزمن الطبيعي ، أى الزمن الدورى للموجه "كما توضحه المعادله التاليه :

$$F_n = \frac{1}{T_n}$$

ويلاحظ أن كل الاهتزازات تستمر مع استمرار تشغيل الماكينات أى مع استمرار بواعثها ، وكلما زادت قوى التردد الناتجة عن التشغيل كلما زادت الذبذبات الناتجة عن هذه الترددات وزادت بالتالى فى المباني المعرضة لبواعث الاهتزازات .

كما يلاحظ أن كل الاهتزازات تبديد الطاقة، ومن ثم تقل سرعة الذبذبات الناتجة عنها، وتتضاءل حتى تتلاشى تماما . انظر الشكل رقم (٣٤). وتقاس الاهتزازات في المباني بمقاييس العجلة Accelerometers التي تحول النبضات الميكانيكية Mechanical impulses إلى نبضات كهربائية Mechanical impulses وهذه يتم تسجيلها وتحليلها ومقارنتها ببيانات التردد والسعة والسرعة أو العجلة للاهتزازات



شكل رقم (٣٤) يوضح

تضاؤل موجة الاهتزاز كلما بعدت عن مصدرها

### ٥-٣- السعة Amplitude :

" السعة هي : الازاحة القصوى لجسم متذبذب، أو القيمة القصوى لكمية متذبذبة سواء في الاتجاه الموجب أو السالب ". ويعتمد تأثير سعة الاهتزاز على المباني أو الناس على التردد Frequency ، وعادة تقاس سعة الاهتزازات بالميكرون (والميكرون يساوي ١٠<sup>-٦</sup> م).

مبدئياً تلاحظ أن ١٠ ميكرون / سعة = ٥ هيرتز / ذبذبه وعند ٥٠ هيرتز / ذبذبه .. السعة تكون غير مستقره Annoying وعندما تكون ٥ هيرتز / ذبذبه أى ٤٠٠ ميكرون / سعة تولد إزعاج أو عدم شعور بالأمان

Discomfort بينما تكون ٥٠ هيرتز/ذبذبه / ١٥ ميكرون / سعة تصنف بأنها مؤلمه Painful.

النقل الثقيل على الطرق يسبب إهتزازات سعتها تتراوح بين ٥-٢٥ ميكرون ، عند ذبذبات تتراوح بين ١٠-٣٠ هيرتز.

ومن التجارب التي تمت في الماضي على الشحنات المتفجرة ، ثبت أن الحد الأدنى للضرر الناتج عن هذه الانفجارات يكون ٤٠٠ ميكرون / سعة إهتزاز في المباني الجديدة - وعند ٢٠٠ ميكرون / سعة اهتزاز في المباني القديمة .

وقد ذكر كل من Teichmann & West water في بحث منشور عام ١٩٥٧ م ، أن المباني ذات القيمة التاريخية ، والمباني الواهية أو الضعيفة Frailty التي توجد في أجواء سينة أو ملوثة ، من الممكن أن تتحمل سعة إهتزاز تصل إلى ١٠٠ ميكرون .

#### ٥-٤ - قمة السرعة Peak velocity :

والسرعة هي : المسافة التي يقطعها جسم في وحدة الزمن في اتجاه معين .. فهي إذن كمية متجهة ، ووحداتها في النظام الدولي هي : المتر في الثانية "

ويمكن حساب سرعة اهتزاز أى مبنى عن طريق البيانات التي تؤخذ بجهاز " مقياس العجلة Accelerometer " إذ تكون مرشد جيد لتقدير اخطار تلف المباني بسبب الاهتزازات.

والقاعدة الآتية : تكون مناسبة لحساب المنحنى الجيبى للاهتزاز لكن نتائجها تستخدم بصوره تقريبية في معظم الحالات :

$$V = 2 \pi A F$$

حيث أن  $V$  = السرعة

$A$  = سعة الذبذبة

$F$  = التردد

الملاحظة المبدئية أثبتت أن الانسان يتأثر عندما تكون سرعة الاهتزاز حوالى ٠.٣ مم / ث .

وتصنف الاهتزازات بأنها مزعجة أو غير مستقرة Annoying إذا كانت سرعتها حوالى ٢.٥ مم / ث .

فى الفترة من ١٩٤٩-١٩٦٥م قام عدد من العلماء بإجراء سلسلة من تجارب التفجير Blasting على المباني، واستطاع العديد من العلماء تقدير (قيم سرعة) للأضرار الطفيفة Minor damages التى حدثت فى العديد من هذه المباني .. وقد ثبت أن هذه القيم تراوحت بين ٥٠-١٢٠ مم / ث . ومع ذلك فإن الدراسات الحديثة أوضحت أنه يمكن زحزحة حدود السرعة نحو القيم الأقل Towards lower values .

وفيما يلى نذكر القيم التى بينتها المواصفات القياسية الألمانية DIN رقم ٤١٥٠ لسنة ١٩٧٠ للنهائية العظمى للسرعة المسموح بها لمقاومة الصدمات المفاجئة Sudden shocks فى المباني ، انظر الجدول رقم (٣) مع ملاحظة أنه يجب أن تختزل قيم المواصفات القياسية فى حالة الذبذبات المداومة Sustained vibration حتى الثلث..

### جدول رقم (٣) يوضح

المواصفة القياسية رقم ٤١٥٠ لسنة ١٩٧٠ من ٨-٨٠ هرتز

DIN 4150 (1970 Draft) Valid 8-80 Hz

No.	Description	maximum allowable velocity
1	Ruins and buildings of great historic value.	2mm/sec.
2	Buildings with existing defects	5 mm/sec.
3	Buildings undamaged ( minor defects such as cracks in plaster)	10 mm/sec.
4	“ Strong: buildings	10-40 mm/sec

وقد اثبتت الملاحظات أنه يوجد فرق يتراوح بين (١٢-١٦ ارمم) زيادة أو نقص في هذه القيم .

وتتطلب المواصفات القياسية رقم ٤١٥ قياس تأثير الاهتزازات على الأساس الخارجى External foundation للمبنى عند حد مستوى الأرض، من الثلاث اتجاهات (X,Y,Z) الاتجاه الرأسى والاتجاهين الأفقيين .

In the vertical & in the two horizontal directions

مع التعويض فى المعادلة التالية :

$$PEAK \ VELOCITY \quad v_{r \ MAX} = \sqrt{v_{X \ MAX}^2 + v_{Y \ MAX}^2 + v_{Z \ MAX}^2}$$

مع العلم أن القيمة العظمى المسموح بها عند قياس سرعات الاهتزاز فى الأرضيات والأسقف تكون ٢٠مم/ث .

وفيما يلي جدول رقم (٤) يوضح قيم الاهتزازات التي تسبب أضرار

في المباني مأخوذة من المواصفات القياسية الحديثة: Din 4150 - 1978

### جدول رقم (٤) يوضح

أضرار الاهتزاز على المباني

#### DIN 4150 ( Draft 1978)

$v_r$ max	Damage
< 2.5	No. Damage
2.5 To 6	Very unlikely
6 to 10	Unlikely
> 10	Possible

#### ISO/TC 108/Sc-2

$v_r$ max	Damage
3 to 5	Visible Cracks (> 0,02 mm)
	In secondary elements: Partitons, Renderings
5 to 30	Visible Cracks in Principal Elements: Masonry Walls, Beams, Pillars, Floors
> 100	Large Permanent cracks Reduction of load Bearing Capacity



## ٥-٥-٥ - العجلة Acceleration :

نتائج قياس الاهتزازات غالبا ماتعبر عن العجلة ، التي تكون مرتبطة بالتردد والسعة ، بواسطة المعادلة التالية :

$$a = 4 \pi A f$$

حيث أن  $a$  = العجلة

$A$  = سعة الذبذبة

$f$  = التردد

هذه المعادلة تكون صحيحة بالنسبة للمنحنى الجيبى للاهتزاز لكنها تستخدم بصورة تقريبية لمعرفة الاهتزازات الجيبية ، وعادة تقاس العجلة بواسطة وحدة العجلة ( g units ) حيث أن  $\rho$  = عجلة الجاذبية الأرضية . التي تساوى على سبيل المثال : ١٠ م / ث<sup>٢</sup>

وأقل قيمة للعجلة التي تحدث تأثير واضح على الناس أو تأثير جدير بالملاحظة Not iceable effect تكون ( 0.01 g ) .

ويحدث التأثير غير المرضي للعجلة un pleasant effect عندما تتراوح قيم العجلة بين ( 0.04 - 0.05 g )

كما يحدث التأثير السيئ للعجلة عندما تصل قيمتها إلى قيم أعلى من ( 0.1 g ) وقد أوضحت البيانات المأخوذة من تجارب النسف Blasting experiments التي تمت على المباني عام ١٩٤٢م بمعرفة كل من Thoenen & windes أن تلف المباني يحدث إذا وصلت العجلة إلى قيم ( 1 g ) .



ويعتبر الكثير من الخبراء أن حد الأمان للمباني safty limit هو (0.1g).

#### ٥-٦- الشدة والطاقة والضغط Intensity, Power and Stress:

يمكن حساب الطاقة المنقولة بواسطة الاهتزاز وفقا لقواعد تجريبية مبنية على دالة التردد والسعة ( السرعة أو العجلة ).

كما أخذت دالة الشدة في الاعتبار عند وضع المواصفات القياسية الألمانية Din رقم ٤١٥٠ لسنة ١٩٧٠م.

علما بأن المواصفات القياسية لسنة ١٩٣٦ م اعتمدت على مقياس بال The pal scale الذي يعد مقياسا لدالة السرعة فقط .

ويعتمد مقياس بال على المقارنة بين طاقة الاهتزاز المقاسه لاستخدام وحدات بال PAL Units وبين تأثيراتها الملحوظة على الناس .

هذا وتستخدم وحدات زيلر وفيرار Zeller & Vibrar لتقدير الضرر الذي يلحق بالمباني نتيجة الاهتزازات .

وقد نوقشت مقاييس ووحدات مختلفة بشيء من التفصيل في الملحق رقم (١).

ولا يعتمد الضغط الواقع على مواد البناء على الطاقة الناتجة عن الاهتزازات فقط ، لكن يعتمد أيضا على طبيعة المادة وموضعها في البناء.

ونادرا ما يتم تقدير الضغوط القصوى المسموح بها على الأبنية بناء على تأثير الاهتزازات على مواد البناء.

وتبين الحسابات البسيطة أن الحد الأقصى للسرعة المسموح بها في المباني العادية هو ١٠ مم/ث . وذلك طبقا للمواصفات القياسية DIN رقم ٤١٥٠ لسنة ١٩٧٠.

كما أن معدلات الضغوط المسموح بها في المنشآت التي استخدم فيها مواد الانشاء الواسعة الانتشار تتراوح بين ٤ر-٢,٢٥٪ .  
انظر البيانات التفصيلية في الملحق رقم (١).

ومع ذلك لو أخذنا في الاعتبار تركيز الضغط على الشروط الدقيقة ، ووضعها بالنسبة للنماذج الأخرى من الضغوط ، فإن أقصى حد للأمان الذي تدل عليه مثل هذه البيانات قد ينخفض فعليا أو يختفى فعليا.

#### ٧-٥- الاهتزاز المرورى وأثره على المباني :

#### Traffic vibration & its effect on buildings

إن حركة مرور وسائل النقل الثقيل " في شوارع المدن " تسبب اهتزاز الأرض وكذلك الأبنية . وقد سجلت حركة مرور السيارات ساعات اهتزاز تراوحت بين ٢-٢٥ ميكرون لكل ترددات تتراوح بين ١٠-٣٠ هيرتز .

وحركة المركبات الكبيرة قد تكون مصدر لترددات منخفضة وساعات اهتزاز كبيرة ، إذ تم تسجيل ساعات اهتزاز تراوحت بين ٥-٥٠ ميكرون لكل ترددات تراوحت بين ٧-٨ هيرتز ، وذلك أثناء حركة الأنوبيسات المحملة بالركاب Loaded buses والجرارات Tractors والمقطورات Trailers.

وتعد وعورة الطريق - عدم استواء سطحه - أحد الأسباب الرئيسية للاهتزازات الناتجة عن حركة المرور .

وقد ثبت أن تعرجا عمقه ٢٠ مم يسبب سعة اهتزاز سرعته قد تزيد ٥ مم/ث، وهذه السرعة تزيد عن حد الأمان الموضوع للمباني القديمة في المواصفات القياسية ١٤٥٠.

إن التجارب التي تم تنفيذها بعوائق مجهزة ذات سمك يتراوح بين ٤-٣٨ مم ، أثبتت أن سعات الاهتزاز قد تزيد عن ٧٦ ميكرون لكل ٨ هيرتز، أي حوالى ٤ مم/ث.

وهناك عامل آخر شديد الأهمية ، وهو المسافة بين المباني والطريق الوعره The road surface irregularity إذ ثبت أن مضاعفة المسافة بين المباني والطرق الوعره بصفة عامة تسبب انخفاض سعة الاهتزاز بمقدار ٢ ميكرون أو أكثر قليلا.

ونادرا ما يعد الاهتزاز المرور السبب الوحيد لتدهور حالة المباني أو موادها ، ولكن يجب وضع تأثيرات الاهتزاز المرورى فى الاعتبار مع عمليات أخرى مرتبطة بها ، وتؤدى إلى تلف المباني ، كما قد يحدث فى عملية التسارع " العجلة " Acceleration وهذه العمليات من الصعب تقديرها باستخدام مصطلحات كمية Quantitative terms.

وفيما يلى ملخص لبعض القواعد العامة التى سبق ذكرها:

- إن تأثير الاهتزاز المرور على العناصر الصغيرة أكبر من تأثيره على العناصر الكبيرة . كما أن التردد الطبيعى للأبنية عادة ما يكون أكثر إنخفاضا فى تردد الاهتزازات المرورية ، والرنين الناتج عن هذه الحركة فى المباني نادرا ما يحدث .

ومع ذلك فإن العناصر المعمارية الفردية ، خفيفة الوزن ، مثل :  
الأرضيات والأسقف والشبابيك أكثر ميلا لتكبير الرنين كما هو الحال فى  
العناصر الصغرى ذات الترددات عالية الرنين.

- تعطى هياكل المباني أقصى ساعات للاهتزاز ، وذلك لأنها أكثر بعدا عن  
الروابط التى تربطها بالمكونات الأخرى للمباني، مثل : محاور الأرضيات  
Centres of Floors.

وكمحصلة عامة يمكن تحديد العناصر المعمارية الأكثر حساسية  
للتلف الناتج عن الاهتزاز كما يلى:

- طبقات البياض ، وبصفة خاصة ، تلك الطبقات غير المرتبطة جيدا  
بالجدران .." أو شبه المنفصلة ."

- الجدران المتصدعة .

- العناصر الصغرى فى المباني غير المرتبطة جيدا بالهيكل الإنشائي، مثل :  
الجدران الدبش، والجدران المبنية من الطوب غير المترابط جيدا أو  
المنفصل، إذ أن اهتزاز هذه العناصر قد يطحن المون Grind off the  
Mortar وقد لاحظ سيور Sior سنة ١٩٦١ أن الاهتزاز عندما يكون قريبا  
من قيم حد التلف ، فإنه يعمل كعامل حفاز يؤدي إلى زيادة التلف ، الذى  
يمكن عزوه أو إرجاعه إلى أسباب أخرى ، كضعف الأساسات على سبيل  
المثال .

أيضا ضغط الاهتزاز قد يتداخل مع أو يؤازر عمليات التلف  
الفزيوكيميائى ، ويسبب زيادة معدلات تلف المباني الأثرية ، وكذلك الشروخ  
التى تنشأ نتيجة الاهتزازات قد تتسع أكثر أثناء دورات الاهتزاز

The vibration cycles ويسقط بداخلها الأثرية ، التي قد تملأها لدرجة أنها لا تسمح بإعادة الوضع إلى ماكان عليه من قبل مرة أخرى .

كما أن زيادة المياه وتسربها خلال الشروخ الدقيقة المتكونة والتي تتسبب نتيجة الاهتزاز ، قد تتسبب في عمليات أخرى مدمره ، مثل : تبلور الأملاح وتكون الصقيع ، أو المهاجمة بعوامل التلف الكيميائي التي ربما تمتد داخل مواد البناء نفسها أو تتخللها .

وغالبا ماتستخدم مقاييس ZELLER & VIBRAR لتقدير التأثيرات الضارة للاهتزازات على المباني ، ويصعب استخدام مقاييس الزلازل Seismic scales بدلا منها، لدراسة الاهتزازات المرورية ، لأنه وكما يحدث في الزلازل فإن الترددات الأقل ، والسعات الأوسع قد تكون متشابهة والقياسات تكون مشوشة .

كما أن حد الاهتزاز المقبول في الأبنية التاريخية أو ذات القيمة الفنية - على وجه الخصوص - يكون منخفضا ..

وقد يحدث التلف في طبقات الجص ، وهذا مايمكن قبوله ، حتى لو أن الهيكل الأساسي للمبنى لم يتأثر ، وتكون المشكلة خطيرة عندما يكون الجص مزخرفا أو مرسوما عليه رسوم زيتية.

وخير مثال على ذلك فيلا Farnesina في روما ، حيث تلفت الصور الجدارية Mural paintings التي كان قد رسمها الفنان رافائيلو وتلامذته ، على جدران هذه الفيلا ، بسبب الاهتزازات الناتجة عن حركة المرور ، والتي كادت أن تؤدي إلى تلفها بالكامل .



وفى عام ١٩٧٠م ، فى محاولة لحل مشكلة الطريق القريب من فيلا Farnesina أوالمجاور لها، ثم إعادة بناء هذا الطريق كاملا ، مع تعليقه على كتل مطاطية ، وذلك بطول ٦٠م.

وفى النهاية، يجب التأكد ، على أن حدود الأمان Safty limits المطبقة على المباني العادية ، يجب ألا تطبق أوتوماتيكيا على المباني الأثرية ، وذلك طبقا لما هو موضح فى المواصف القياسية رقم ٤١٥٠.

مثال جيد على ذلك ، يتضح من الاجابة على سؤال ، سئل فى عام ١٩٠٠م عن مدى تأثير سكة حديد لندن المركزية على المنازل المجاورة لها فى منطقة هايدبارك The Hyde Park Area إذ وجد أن ساعات الاهتزاز نادرا ماتزيد عن ٢٥ ميكرون عندما تتراوح الاهتزازات بين ١٠،١٥ هيرتز. وبناء على ذلك ثبت أن تلف هياكل المباني مستبعد الحدوث ، لكن البيانات وضحت فى نفس الوقت أن نهاية السرعة Peak velocity تصل إلى ٢,٥م/ث .

وحسابيا فإن هذالسرعة غير مقبولة فى المباني الأثرية وذلك طبقا للمواصفة القياسية ٤١٥٠ لسنة ١٩٧٠م.

#### ٥-٨- صدى الصوت Sonic Boom:

الموجات الصوتية التى تحدثها حركة سير الطائرات عندما يكون سرعتها أسرع من الصوت ، تؤدى إلى ضغوط عالية على المباني تلحق بها العديد من الأضرار .

وقد سجل فى عام ١٩٦٢م فى مدينة New Mexico أعلى ضغط لصدى الصوت ، إذ وصل إلى ٢٠٠٠ نيوتن لكل متر مربع  $2000 \text{ N/m}^2$ .

وقد أثبتت الدراسات التي أجريت على طائرات من نوع كونكورد Concord أن الضغوط الناتجة عن تخليق هذه الطائرات ذات السرعة الأعلى من الصوت ، غالبا ما تكون أقل من مائة نيوتن لكل متر مربع  $100 \text{ N/m}^2$ .

وتتركز احتمالات تلف المباني بسبب ضغط صدى الصوت، بصفة خاصة، على المواد ذات السطح الكبير والسمك الصغير & Large surface small mass وأيضا على المواد غير مسبقة التحميل Not Pre - Loaded والتي تنخفض فيها مقاومة الشد Low tensile strength.

لذلك فإن ضغط صدى الصوت يؤثر أولا في الجدران التي تغطيها طبقة بياض Plaster خاصة إذا كانت منفصلة، أو شبه منفصلة عن الجدران. يلي ذلك حدوث تلف في الزجاج ، وفي النهاية يحدث تلف للأسقف، ونادرا ما يحدث التلف إذا كانت قيم أقصى ضغوط لصدى الصوت على المباني أقل من ٥٠٠ نيوتن لكل متر مربع  $500 \text{ N/m}^2$ .

لكن تأثير الرنين المصاحب للموجات فوق الصوتية على مواد الإنشاء، قد يكون مقدمة لبعض الاتساعات المصاحبة للاهتزازات .

وغالبا ما يسمى زمن الموجات الصوتية : العلامة الفاصلة Signature interval وذلك يعتمد على نوع الطائرة ... فمثلا زمن الموجه الصوتية للطائرة كونكورد ٠,٣٥ ث .

لذلك فإن مواد الإنشاء ذات التردد الطبيعي الذي يصل إلى ٣ هيرتز يخضع للزيادة بسبب تعرض المبنى للاهتزاز الناتج عن الرنين .



كما أنه في حالات الاهتزازات الأخرى فإن نوع المبنى وحالته مهم جدا في تحديد مدى التلف الذي يحدث بسبب تأثير الموجات الصوتية . The sonic waves

### ملحق الاهتزاز رقم (١)

أ- التردد الطبيعي للمباني - الرنين :

Natural Frequency of buildings- Resonance:

لو أن  $T_n$  الزمن الطبيعي للذبذبة و  $F_n$  التردد الطبيعي فإن :

$$F_n = \frac{1}{T_n}$$

وقد أمكن بالتجربة حساب زمن التردد الطبيعي في المباني وذلك عن طريق التعويض في المعادلة الآتية :

$$T_N = \frac{\text{number of storeys}}{11}$$

وفيما يلي أمثلة لبيانات عن الترددات الطبيعية ومنهما في المباني

Low Buildings	$F_N = 10\text{Hz}$
Towers 30-40 m	$F_N \text{ (bending)} = 1.64 \div 2.86 \text{ Hz}$
Skyscrapers	$F_N = 0.2 \div 0.5 \text{ Hz}$ $T_N = 5 \div 2 \text{ Sec}$
Empire State Building	$T_N = 8.25 \text{ Sec}$
New severn Bridge (vert. flex.)	$T_N = 7 \text{ sec}$ $f_N = 0.14 \text{ Sec}$
Long Creek Bridge (Canada)	$F_N = 0.6 \text{ Hz}$ $A = 200 \text{ mm}$

كما أن التردد الطبيعي للعديد من الأرضيات والبلاطات يتراوح بين ١٠-٣٠ هيرتز .

والملاحظ أن استمرار الاهتزازات يحدث الترددات الطبيعية في المباني على الاستمرار ، وعندما يتكرر حدوث إثارة بواسطة الاهتزازات (f) التي تكون قريبة من الترددات الطبيعية في المباني ( $f_n$ ) فإن سعة الاهتزازات المثارة سوف تزداد . وهذه الظاهرة تسمى : الرنين Resonance . وهذا الاتساع Amplification الذي يحدث نتيجة الرنين يعتمد على : عامل الوهن Damping factor في المباني (D).

ومن المفترض أنه في معظم المنشآت وفي مواد البناء يكون الإتساع مساويا لنصف عامل الرطوبة (  $\frac{1}{2} D$  ).

ويمكن قياس اتساع الرطوبة عن طريق الإثارة الاصطناعية للمنشأة ، وبعد ذلك يتم عد الدوائر المطلوبة حتى تنقص إلى النصف وذلك للحصول على القيمة الأساسية Initial value .

ولو أن (N) ترمز لهذا العدد .. فإن :

$$\text{السعة} \quad \text{AMPLIFICATION} = 4,35 N$$

كما يوجد طريقة أخرى أكثر دقة يمكن عن طريقها قياس اتساع الرنين ، وذلك بحساب عدد الدوائر ( $N_1$ ) المطلوبة لانقاص التردد إلى عشر (١٠/١) القيمة الأساسية ، وفي هذه الحالة تكون

$$\text{السعة} \quad \text{AMPLIFICATION} = 1.365 N_1$$

ب- شدة الاهتزاز - ووحدة بال وزيلر وفيبرار

### Intensity Of Vibration , Pal, Zeller & Vibrar Units

الشدة ووحدةها (K) يمكن تعريفها كما جاء في المواصفات القياسية الألمانية رقم ٤١٥ الصادرة عام ١٩٧٠ م عن طريق المعادلة الآتية :

$$K = \frac{0.005 A f^2}{\sqrt{100 + f^2}} = \frac{0.8 V f}{\sqrt{100 + f^2}} = \frac{0.125 a}{\sqrt{100 + f^2}}$$

مع ملاحظة أن التجريب يكون ( 0.1 ) للشدة أى :  $K = 0.1$

وقد وضعت المواصفات القياسية حدود مسموح بها فى الليل وفى النهار لمختلف القطاعات فى المدن ، مع الوضع فى الاعتبار منذ البداية العوامل البشرية The Human factors.

هذا وقد عرفت شدة الاهتزاز Strength of vibration من قبل عام ١٩٣٩ فى المواصفات القياسية الألمانية ٤١٥٠ بوحدة بال (Pal units) كما يلى :

$$\text{Strength ( Pal )} = 20 \log 2.24 V$$

$$\text{Strength ( Pal )} = 20 \log 14 Af.$$

حيث أن (V) قمة أو نهاية السرعة .

(A) السعة

(F) تردد الاهتزاز

مع العلم بأن : السرعة تقاس بالمليمتر لكل ثانية mm/Sec والسعة تقاس بالمليمتر mm . كما أن مقياس ( بال ) أيضا يهتم بصفة أساسية بالتأثيرات على الناس ، والاهتزازات التى تتراوح شدتها بين ( ١٠ - ٢٠ بال ) يمكن معرفتها بالملاحظة العامة Generally perceptible وعندما تتراوح

الاهتزازات بين (٢٠-٣٠ بال) يمكن اعتبارها غير مقبولة للناس أو الأشخاص داخل المباني .

أما نظام زيلر Zeller - ١٩٣١-١٩٤٩ - فيهتم بصفة أساسية بما يتعلق بتأثير الاهتزاز على المباني .. وقد أعطى زيلر وحدة طاقة سميت باسمه ، يعبر عنها بالمعادلة التالية :

$$Z = 16 \pi^4 A^2 f^3$$

وذلك عندما يتم قياس السعة (A) بالمليمتر .

وقد رسم زيلر بذلك مقياس يماثل مقياس (Mercalli - Cancani) المستخدم في قياس الزلازل ، حيث يتم مقارنة قيمة طاقة الاهتزاز مع تأثيرها على المباني ، من خلال اختبار حالات الاهتزاز وتقدير قيمها .

وأخيرا وصفت وحدة زيلر طبقا لأشكال حد المرونة المبسطة ووحدة جديدة تسمى : وحدة فيبرار Vibrar حيث أن :

$$\text{Vibrar} = 10 \log Z/10$$

وقد تم صياغة مقياس فيبرار لقياس تأثير الاهتزاز على المباني ،  
بمعرفة ( كوخ Koch ) عام ١٩٤٩م.

وفيما يلي قائمة توضح نوع التلف الذي يحدث للمباني بناء على طاقة الاهتزاز .

جدول رقم (٥) يوضح  
طاقة الاهتزاز والتلف الناتج عنها

No.	Vibrar	Damage
1	Below 30 vibrar	No structural damage
2	30-40 vibrar	Light damage ( for example cracking in rendering or plaster)
3	4-50 Vibrar	Severe damage ( for instance cracking in load bearing walls).
4	50-60 Vibrar	Destruction of buildings

وقد اقترح سيور Sior عام ١٩٦١ أن بداية الدرجات ( ٣ ، ٤ ) فى مقياس فيبرار يمكن أن تتغير حتى تصل إلى (٥٥) فيبرار .

ج - الضغط Stress :

ضغوط العمل المسموح بها على مواد البناء الأساسية هى كما يلى:

Steel	140 N.mm <sup>2</sup>
Concrete	6-15 N.mm <sup>2</sup>
Timber	12 N/mm <sup>2</sup>

علما بأن 1Kg = 10 N      N = Newton

وقد بين جاش Gasch عام ١٩٦٨ م علاقة مبنية على التجربة بين النهاية العظمى للضغوط الديناميكية ( max ) وسرعة الاهتزاز (V) توضحها المعادلة التالية :

$$\delta \max = KV \cdot E \cdot \rho$$

علما بأن :

$E$  = معامل ينج لقياس المرونة

$\rho$  = كثافة الكتلة للمادة

$K$  = مقدار الأبعاد

والأخير يعتمد على القطاع المعتمد لمادة البناء .

والقيم النموذجية  $E\rho$   $K$  في القطاعات المربعة أو المستطيلة

للعديد من المواد موضحة فيما يلي :

Steel	0.07 N.S/mm <sup>3</sup>
Cast Iron	0.046
Granite	0.022
Concrete	0.015
Brick Masonry	0.0038
Timber	0.0039÷0.0054

\*\*\*\*\*





الفصل السادس

الروابط Binders



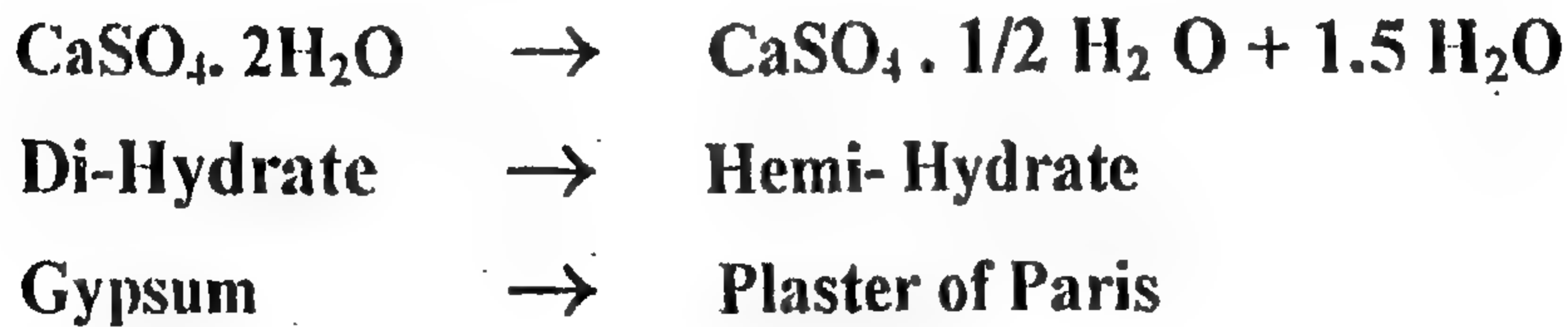
## ٦-١ - الجبس Gypsum:

استخدم الجبس في مصر بين كتل أحجار البناء كمونه كما في الأهرام كما استخدم كذلك في البياض وذلك منذ حوالي ثلاث ملايين سنة قبل الميلاد.

أيضا يرجع تاريخ استخدام الجبس في Mesopotamia إلى أزمنة مبكرة جدا .

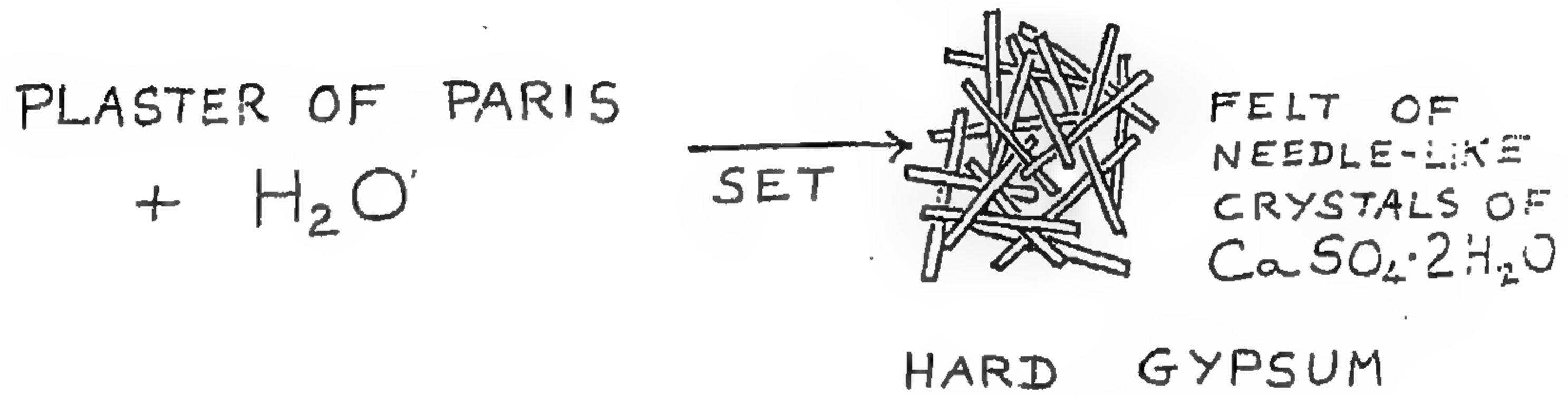
ويتم تجهيز جبس البياض بتسخين خام الجبس أو أحجار السيلينيت Selenite التي تحتوى كل منهما على كبريتات الجبس المائية في درجة حرارة متوسطة " At moderate temperatures حيث يتحول الجبس المحتوى على جزيء ماء  $2H_2O$  إلى جبس يحتوى على نصف جزيء ماء  $\frac{1}{2} H_2O$  وذلك طبقا للمعادلات الكيميائية الآتية:

130°C



والجبس الذى يحتوى على نصف جزيء ماء يسمى : جبس باريس  
أو بياض باريس Plaster of paris ويتم تجهيزه بتسخين الجبس المائى فى  
درجة حرارة تتراوح بين ١٥٠-١٦٠ °م.

والجبس الباريسى يشك بسرعة عندما يخلط أو يضاف اليه الماء ،  
ويتحول إلى جبس مائى ويأخذ شكل بلورات إبريه تشبه اللباد بعد الشك كما



شكل رقم (٣٥) يوضح

شك الجبس الباريسى

وتتوقف سرعة شك الجبس المنتج على حالات تسخين الجبس الخام  
ودرجات الحرارة داخل الأفران .

وبصفة عامة يوجد نوعين من أنواع الجبس نصف المائى التى  
تحتوى على أشكال مختلفة من البلورات ولها معدلات مختلفة عند التفاعل مع  
الماء.

النوع الأول : الفاهيمى هيدرات  $\alpha$  - Hemi-Hydrate :

ويسمى جبس نصف مائى متبلور Crystalline Hemihydrate  
ويتم تجهيزه بتسخين الجبس فى الأوتوكلاف Autoclave تحت درجة عالية  
من الضغط فى وجود بخار الماء.

هذا النوع من الجبس يتبلور جيدا، ولا يكون كثير المسام ويتحد ببطء شديد مع الماء.

**النوع الثاني: بيتاهيمي هيدرات Hemi-Hydrate -  $\beta$  :**

ويسمى جبس نصف مائي دقيق المسام Microporous Hemi Hydrate ويتم تحضيره في جو جاف .

هذا الجبس تكون بلوراته صغيرة، ويحتوى على مسام ذات أبعاد كبيرة نوعا ، ويتحد بسرعة أكثر مع الماء .

**- شك الجبس The setting :**

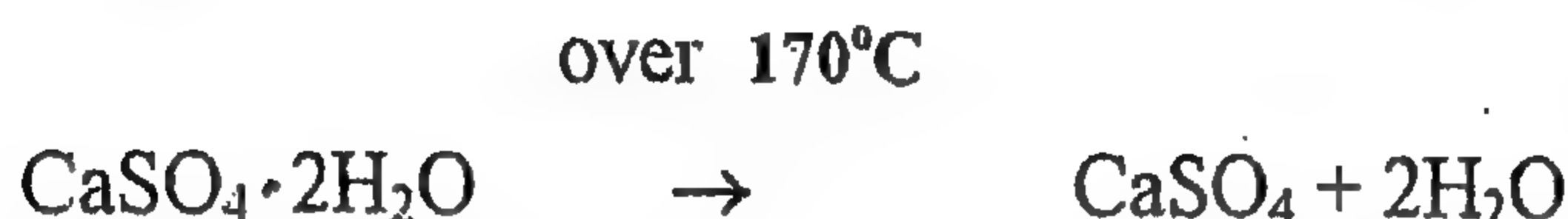
تتوقف سرعة شك الجبس - كما سبق الذكر - على حالات تسخين خام الجبس ، ودرجات الحرارة داخل الأفران . وفي سياق تفاعل الشك بل أثناء هذا التفاعل يسخن الجبس ويفقد قليلا من ماء الخلط بواسطة التبخر Evaporation لذلك يتغير حجم الجبس أثناء الشك ، في هذا الوقت يقوم الجبس بتعويض هذا التغير في الحجم عن طريق نمو البلورات المكونة له ، يحدث ذلك بواسطة عملية التميؤ Hydration.

لذلك فإن عملية شك الجبس يصاحبها حدوث تمدد بسيط يظهر ذلك واضحا عند عمل قوالب من الجبس *Nake moulds* ويكون مفيدا جدا لأننا لانحتاج لاستخدام موائى *Fillers* حتى يمكن تجنب التقلص أو التشقق *Contraction & Cracking*.

هذا ويمكن تسريع عمليات شك الجبس عن طريق اضافة تراب الجبس *Gypsum dust* - الجبس الجاف - أو الملح، أثناء عمليات الخلط ،

فى حين يمكن تأخير زمن شك الجبس ، بإضافة مواد عضوية ،مثل : الغراء أو النشا.

لو الجبس أو جبس باريس سخن لدرجة أعلى من ١٦٥-١٧٠ °م يتم إزالة الماء المتبقى منه وتتكون كبريتات الكالسيوم غير المائية Anhydrous calcium sulphate ( Anhidrite) وذلك طبقا للمعادلة التالية :



gypsum

anhydrite

والأنهيدرايت جبس لامائى يمكن أن يتحول إلى جبس مائى لكن فى الواقع يتم ذلك ببطء، إلا أنه يلاحظ أن الجبس المائى يمكن أن يتحول إلى جبس غير مائى تلقائيا فى الأجواء الحارة الجافة مثل : الصحراء المصرية. ولأن كبريتات الكالسيوم تذوب ببطء فى الماء فإن الجبس لا يستخدم عادة فى الأسطح المعرضة (المكشوفة) فى الأجواء الرطبة .

#### ٦-٢- الجير Lime:

ثبت استخدام الجير فى العصر الحجري الحديث حيث تم اكتشاف بياض الجير.

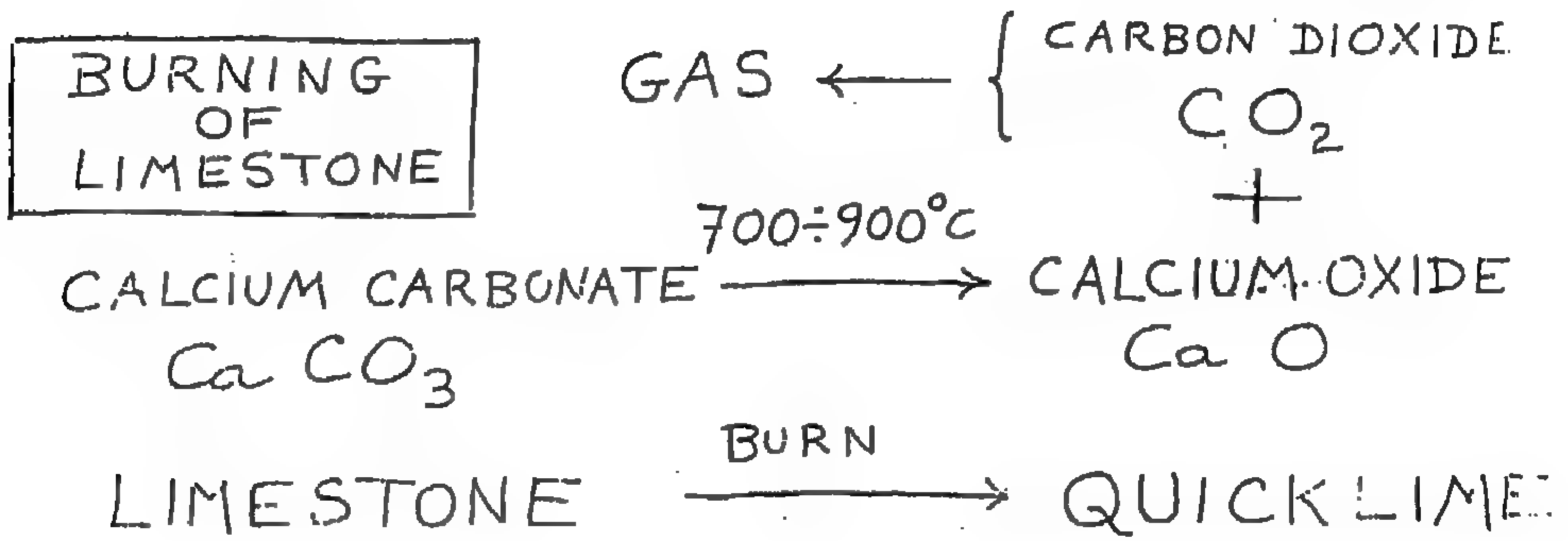
وفى العصور التاريخية ظهر بياض الجير فى الحضارة الميسينية والمينويه Mecenian & Minioc civilization وذلك فى قصر Knossos الذى يرجع إلى عام ١٧٠٠ ق.م.

وفى مصر بدأ استخدام الجير متأخرا قليلا حيث استخدم فى العصر البطلمى ٣٠٠ ق.م .

وكانت المون قديما تحتوى على كل من الجير والجبس، كما كان يتم صناعتها بداية عن طريق خلط معادن تعطى صفات الجبس والجير.

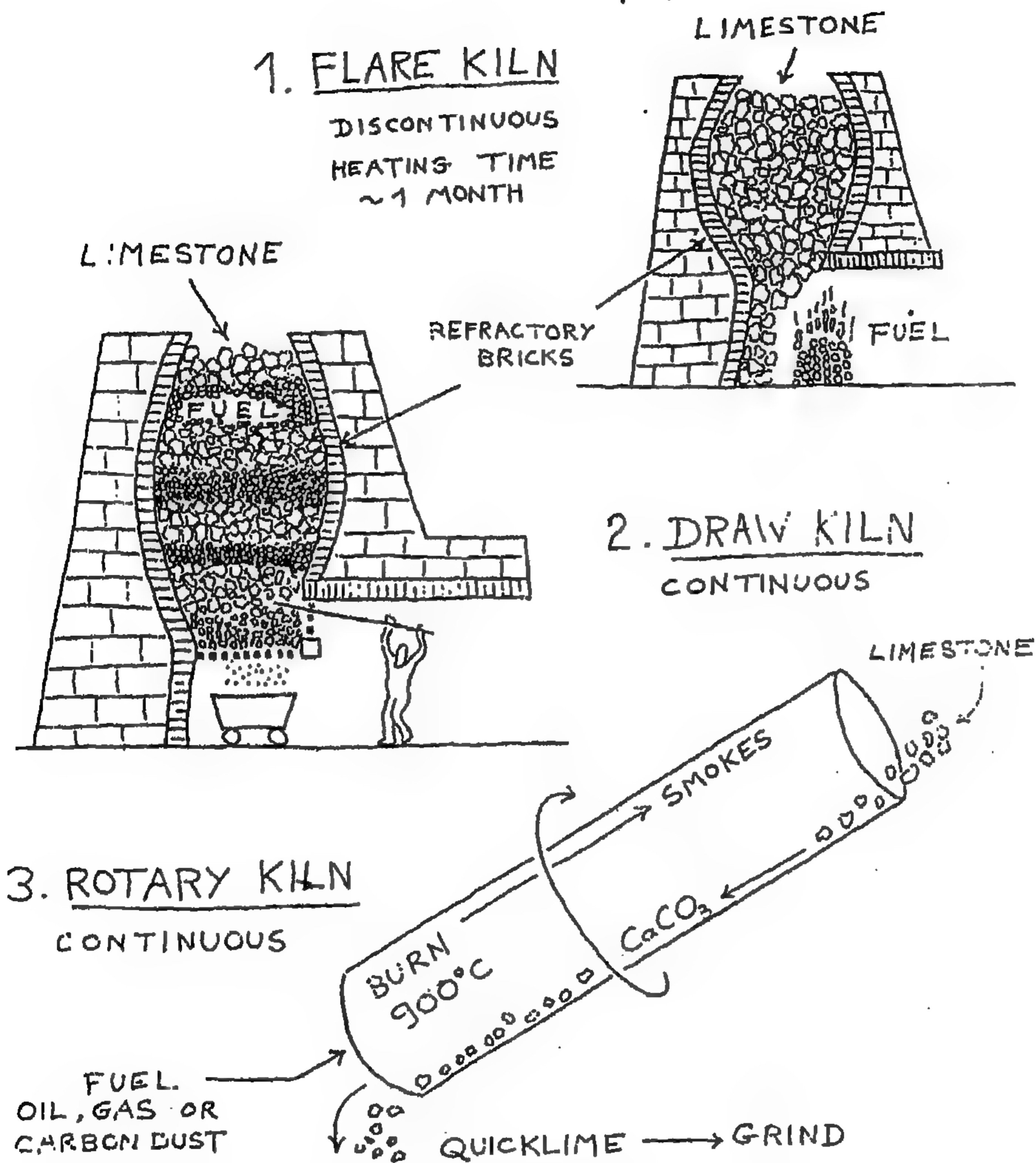
ويتم تجهيز الجير فى درجات حرارة عالية ، أعلى من درجة حرارة تجهيز جبس باريس ، لذلك فإن استخدام تكنولوجيا صناعة الجير كانت غير مستحبة فى معظم الأحيان .

ويصنع الجير بحرق الجير الذى يحتوى أساسا على كربونات الكالسيوم فى درجة حرارة ٧٠٠-٩٠٠ °م فى أفران خاصة ، أصبحت الآن أكثر تقدما - انظر الشكل رقم (٣٦) لينتج فى النهاية الجير الحى ، وذلك طبقا للمعادلات الكيميائية التالية :



مع ملاحظة أن الحجر الجير إذا سخن لدرجة حرارة عالية جدا Over Heated فان الجير الذى نحصل عليه بعد ذلك لايتحد جيدا مع الماء ، ويكون كتل Formation of lumps أيضا يجب العلم بأن الرخام مصدر غير مناسب لكربونات الكالسيوم ، لأن حبيباته الكبيرة تشكل كتل من الجير الحى صعبة الاطفاء .



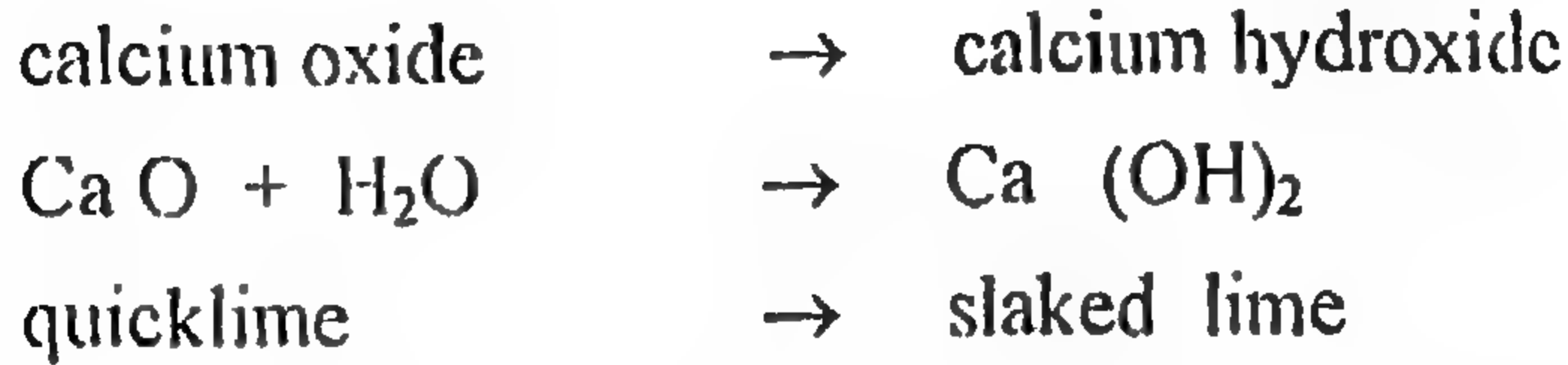


شكل رقم (٣٦) يوضح

أفران صناعة الجير

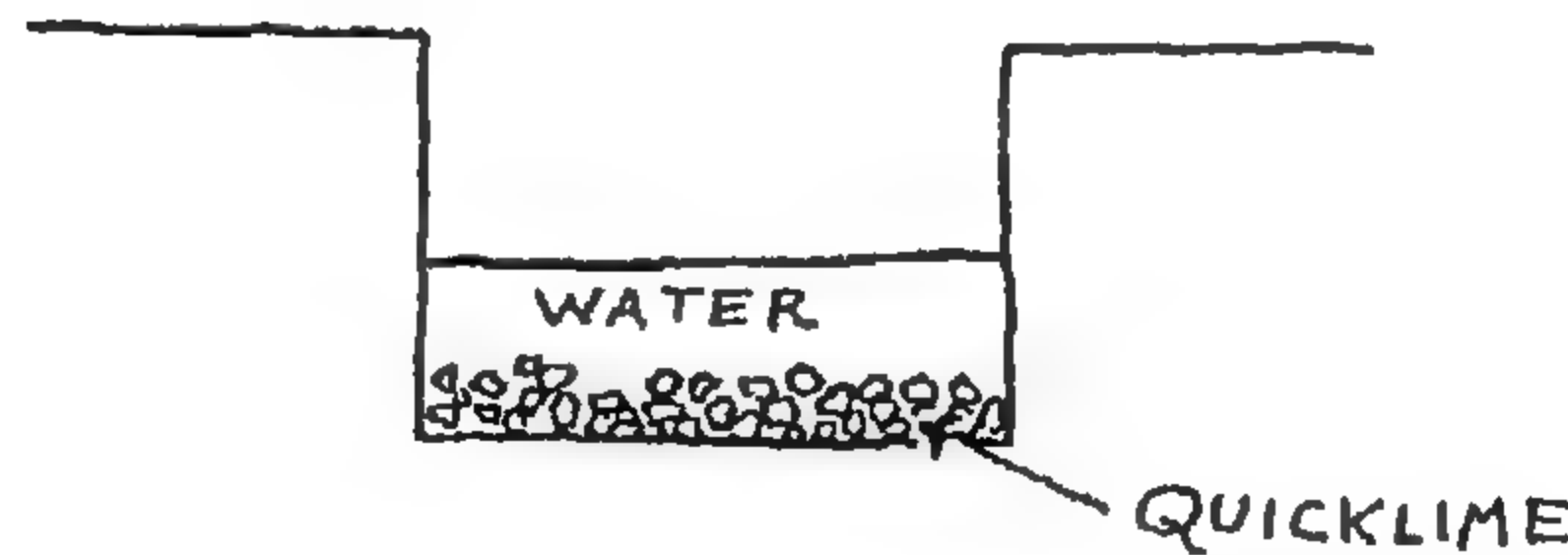
## - طفى الجير Slaking:

عملية طفى الجير هي : عملية تفاعل بين الجير الحى والماء وهذا يتضح من المعادلة الآتية :



هذا التفاعل ينتج عنه حرارة ، وإذا تمت عملية إطفاء الجير بدقة يمكن أن نحصل على جير جيد . ولو استخدمت الكمية الصحيحة من الماء ، يمكن أن نحصل على هيدروكسيد كالسيوم فى شكل جير متميىء Hydrated على شكل بودره ، ولو أضيف إلى بودره الجير كمية أخرى من الماء نحصل على كتله شحميه ناعمة A Soft greasy mass تسمى : عجينة الجير Lime paste.

ويتم طفى الجير فى حفر تسمى : حفر الجير Lime pits انظر الشكل رقم (٣٧) حيث يمكث عدة شهور أو عام كامل . وكلما طالت فترة طفى الجير كلما تحسنت خواصه ، حيث أن طول فترة الطفى تسهل النمو الصفانحى لبللورات الجير وتحسن من خاصية اللزوجة Plasticity فى عجينة الجير .

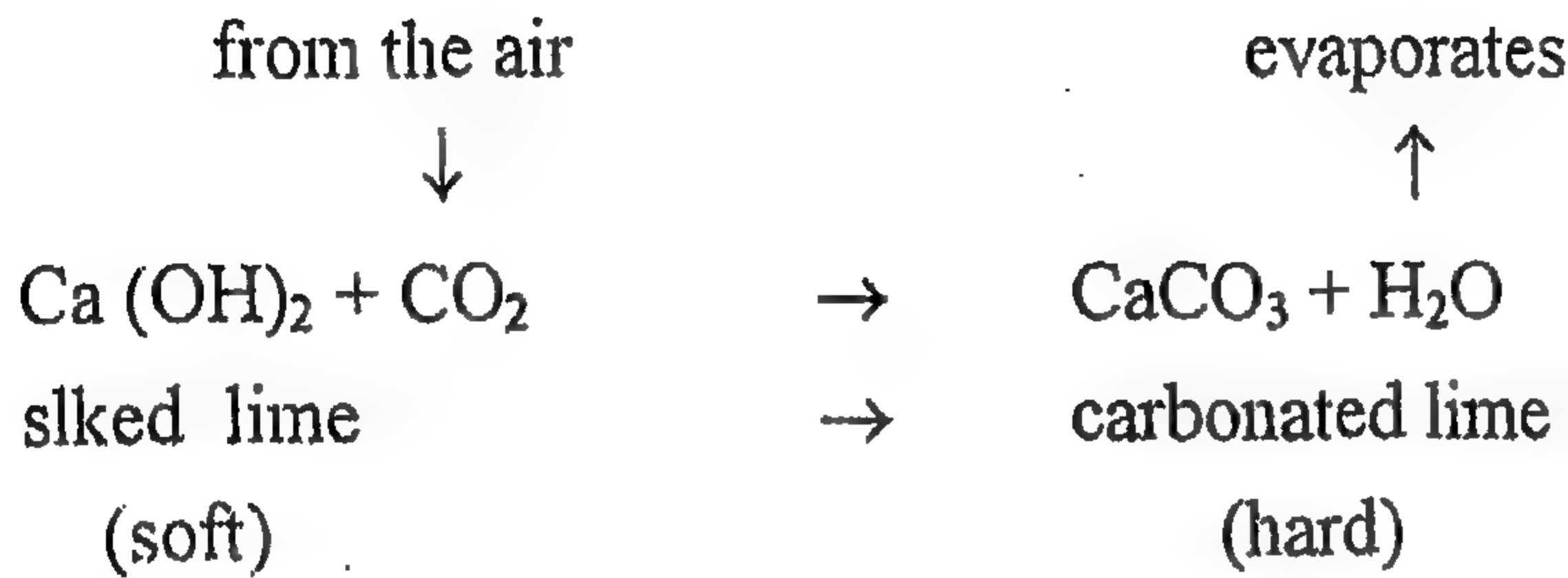


حفرة طفى الجير

وبلاحظ أن الجير المطفأ لا يستخدم وحدة ، لكن دائما يستخدم معه مادة مالئة لكي يمكن تجنب التشققات . To Avoid Cracks

### - عملية تصلب الجير :Hardening

تحدث عملية تصلب أو شك الجير المطفأ عن طريق تفاعل ثاني أكسيد الكربون الجوى مع الجير وتبخر الماء . ويتضح ذلك من المعادلة الآتية:



من أجل ذلك فإن عملية الشك تتطلب اتصال مع الهواء وجفاف تدريجى. مع ملاحظة أن فقد الماء يسبب تقلص أو إنكماش فى حجم الجير.

### - مونة الجير Lime mortar

الرمل هو المالىء النموذجى فى مون الجير ، ويجب غسل الرمل جيدا قبل استخدامه وذلك للتخلص من الأملاح التى قد تسبب ظاهرة التزهير Efflorescences وأيضا لازالة الطفل والمواد العضوية التى تسبب فى بقاء عملية الشك.

وفيما يلي نذكر مثال جيد لمونة جير:

المواد	الكمية بالحجم	الكمية بالوزن
- جير مطفاً	١	١٥
- رمل	٢-٣	١٠٠
- ماء	حسب الطلب	

مع ملاحظة أن خلط المون بنسب صحيحة ضرورى جدا .

وقد لوحظ أن مونة الجير تصبح جيدة التشغيل إذا أضيف الماء إليها بكميات مناسبة ، وفى المقابل تتحسن الخواص الميكانيكية للمونة بعد تصلبها إذا قلت كمية الماء المضاف إليها .

كما أن خاصية التشغيل Workability يمكن أن تتم بدون فقد زائد لمتانة المون ، وذلك من خلال استخدام مسيلات Fluidizers ويفضل دائما الماء، لأن أقل كمية منه تسمح باستخدامه بدون تأثير على عملية التشغيل . أيضا فإن طاقة الخلط Energetic mixing الناتجة عن احتكاك مواد المون بالهواء تعمل على تحسين خواص التشغيل بدون إضافة زيادة من الماء.

ويحتاج عامل البناء A mason إلى خبرة كبيرة لى يحقق التوازن بين خاصيتى التشغيل والقوة أو المتانة Workability and strength .

وتجدر الإشارة إلى أن الصعوبة الكبيرة فى استخدام مون الجير تكمن فى حقيقة أن تصلب المون يكون بطيئا جدا ، وربما لا تتصلب كلية فى الجو الرطب جدا، حيث أن الجفاف شرط أساسى من شروط تصلب مون الجير .

لذلك فإن صعوبة شك مون الجير تحد من استخدام الجير النقي فى الوقت الحاضر، وتشجع إضافة مركبات هيدروليكية تسهل عملية الشك أو التصلب فى الجو الرطب ... مثل: خلط الجير مع البوزولانا أو خلط الجير مع الأسمنت .

ويجب أن نذكر فى هذا المجال أن الخواص الميكانيكية والفيزيائية لمون الجير الحالية ، تقرب من الخواص الميكانيكية والفيزيائية لمون الجير التى استخدمت فى المباني القديمة .

لذلك يفضل استخدامها فى أعمال الصيانة والترميم لهذه المباني خاصة إذا تم حل المشكلات التكنولوجية الأساسية حلا مرضيا.

#### ٦-٣- المون الهيدروليكية Hydraulic Mortars:

تتصلب المون الهيدروليكية أو تشك عن طريق تفاعل كيميائى مع الماء ، بدون حاجة إلى الهواء الجوى ، على عكس المون العادية ، التى يتطلب شكها الهواء الجوى.

وتصنع المون الهيدروليكية من المركبات المائية التى تشك كاملة تحت الماء ، وعندما تتصلب تقاوم عوامل التلف فى الماء العذب أو ماء البحر. لذلك تستخدم هذه المون فى الأعمال التى تتطلب أو التى تنفذ فى البحر أو فى المجارى المائية بشكل عام . مثل : القناطر والسدود .

## – الطريقة الأولى لتحضير مون الجير الهيدروليكية

### Hydraulic lime mortars:

من الممكن أن يكون الجير مون هيدروليكية إذا تفاعل مع السليكا  $SiO_2$  أو الألومينا  $Al_2O_3$ . هذا التفاعل ممكن حدوثه فقط عند درجات حرارة عالية ، كما يحدث في أثناء صناعة الأسمنت.

ومن الممكن أن يتم التفاعل في درجة حرارة الغرفة لو استخدم مكونات نشطة جدا مع السليكا والألومينا ، كما حدث عند صناعة الأسمنت الروماني القديم Ancient Roman Cement.

في الحقبة الهيلينستية Hellenistic period حوالي القرن الرابع قبل الميلاد، تم اكتشاف بعض التربة البركانية الأصل، وذلك في مناطق البراكين، وعندما خلط تراب البراكين مع الجير المطفأ نتجت مونة تصلبت تماما في الجو الرطب جدا .

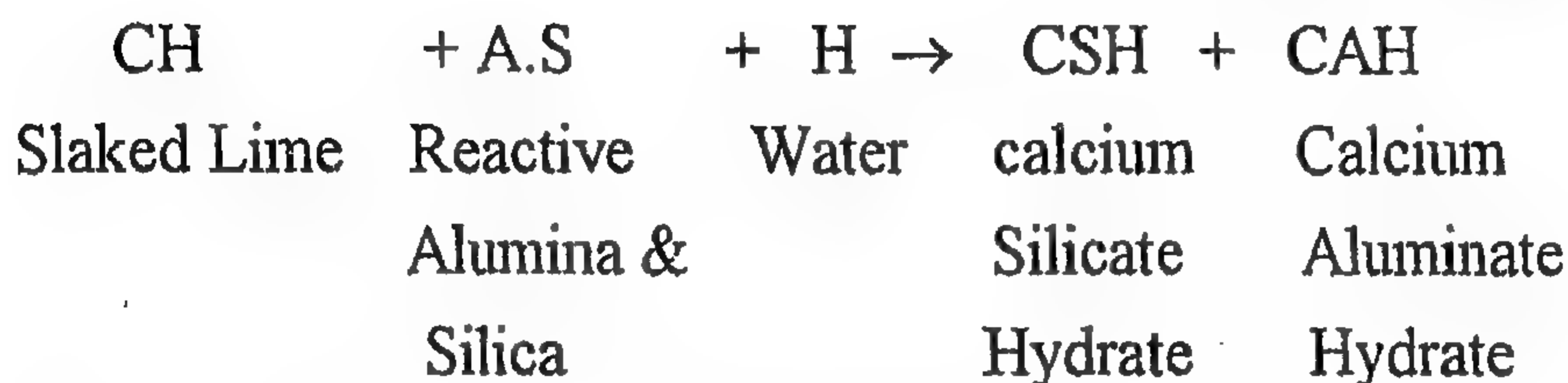
ويلاحظ أن كل المواد التي تنتج مون هيدروليكية مع الجير المطفأ تصمم على أساس التربة البركانية ، ويطلق عليها اسم : مواد بوزولانية Pozzolanic materials أو بوزولانا Pozzolana نسبة إلى مدينة بالقرب من نابلي تسمى : Pozzuoli.

ومن أهم المواد البوزولانية الطبيعية التي استخدمت في العصور القديمة البوزولانا Pozzolana وحجر توف tuff الموجود في جزيرة سانتورين أحد جزر بحر إيجه Aegean islands وحجر الخفاف Pumice وحجر طراس Trass الموجود في حوض نهر الراين الأدنى Rhine region.



هذه المواد البوزولانيه تحتوى على سيليكات والومينا فى حالة نشطه لأنها صهرت فى البراكين ، وبعد ذلك خرجت إلى الهواء الذى بردها بسرعة، لذلك تكون غالبا زجاجية النسيج، وتحتوى على فقاعات غاز ، كما تكون غير بلوريه ، وغير ثابتة كيميائيا ، لها سطح نوعى كبير.

عملية التفاعل التى تتم بين الجير المطفأ والمواد البوزولانيه يمكن تلخيصها فى المعادلة التالية :



مع ملاحظة أن هذه الرموز السابق ذكرها فى المعادلة ، هى نفسها الرموز المستخدمة فى كيمياء الأسمنت وموضحة فى الجدول رقم (٦).

كما لوحظ أن سيليكات الكالسيوم المائية الناتجة عن التفاعل السابق تكون شبكة من البلورات ليفيه Fibrous crystals أو مواد أمورفيه جيلاتينية Gelatinous amorphous materials وهذه يمكن اعتبارها السبب الرئيسى فى تصلب المونه .

وقد استخدمت أنواع أخرى من المواد البوزولانيه الصناعيه أيضا فى العصور الكلاسيكية ، وبصفة خاصة ، خبث الحديد Iron slag ومسحوق الطوب الأحمر أو كسر الفخار ، وهذه مواد قليلة التفاعل ، إلا أنه يجب ملاحظة أن هذه المواد عندما تخضع لدرجات حرارة عالية ، تصبح بعض أجزائها فى حالة زجاجية Vitrified.

هذا وما زالت المواد البوزولانية مستخدمة فى التقنيات الحديثة  
كإضافات حديثة لمواد تقليدية ، مثل : الرماد Fly ash كما أنه أحيانا تضاف  
البوزولانا للأسمنت الحديث لتحسين مناعته للماء المحتوى على الكبريتات .

وفى الحقبة الرومانية : سمح استخدام المركبات الهيدروليكية بتنفيذ  
الأعمال المائية ، كما استخدمت فى تسليح القوالب المستعملة فى النماذج  
الخشبية Concrete casting in wooden moulds .

وفيما يلى نذكر نموذج لخليط مونة تستخدم فى عمل القوالب  
المكبوسة وتسمى : الخرسانة الرومانية Roman concrete هذا الخليط  
يتكون من :

- جير Lime

- بوزولانا Pozzolanna

- كسر طوب أو بلاطات Broken Bricks or tiles

هذا ويمكن انتاج الخرسانة خفيفة الوزن باستخدام حجر الخفاف كماده  
مالئه Aggregate بدلا من قطع الفخار Terracota

مثال ذلك: قبة البانثيون فى روما The pantheon in Rome  
وحديثا أنتجت التكنولوجيا مواد بوزولانية قوية أو لها قدرة فائقة على التحمل  
A strong & durable materials.

فى العصور الوسطى ظهرت بدايات تكنولوجيا الخرسانة والمون  
الهيدروليكية ، حيث كان يتم ملء الفراغ بين سمك الجدران وفى الحوائط  
المزدوجه فى المباني التاريخية ، بالدبش المخلوط بمواد هيدروليكية .

وقد نقلت المعلومات التكنولوجية عن المون الهيدروليكية من خلال مذكرات Vitruvius في رسالة عن بداية عصر النهضة في القرن الخامس عشر، في بداية الثورة الصناعية ، حيث أنه أثناء تطوير الموانئ ، والطرق، وقنوات المياه ، تطلب استخدام كمية كبيرة من الخرسانة الهيدروليكية .

ويجب أن نعلم أن تكتيك الخرسانة الهيدروليكية مازال مناسبه للاستخدام في العصر الحالي ، لكن المواد مازالت نادرة .

وقد استخدم المعمارىون الانجليز مواد بوزولانيه في بناء دعامة Pier جديدة في ميناء Tangiers عام ١٦٦٩م وذلك بالاستعانة بمستشارين ايطاليين .

وفي شمال انجلترا استخدام حجر الطراس أو خبث أفران الحديد بدلا من البوزولانا .

#### - الطريقة الثانية لتحضير مون الجير الهيدروليكية :

يتم بالتفاعل بين الجيرا الحجر الجيري مع السيليكا أو الألومينا ، درجة حرارة عالية جدا، ويحتمل أن هذه الطريقة عرفت منذ العصور الوسطى ، حيث كان يتم جلب الحجر الجيري غير النقي من المحجر ثم يتم حرقه للحصول على الجير الحى، والجير الحى الناتج بعد الحرق مباشرة يخلط بالماء في الحال ، ثم يستخدم مباشرة حيث يتصلب بسرعة تحت الماء.

وفي عام ١٧٩٦م حصل Parker على براءة اختراع الأسمنت الرومانى Roman cement الذى أنتجه في درجة حرارة تصل إلى ٨٠٠°م.

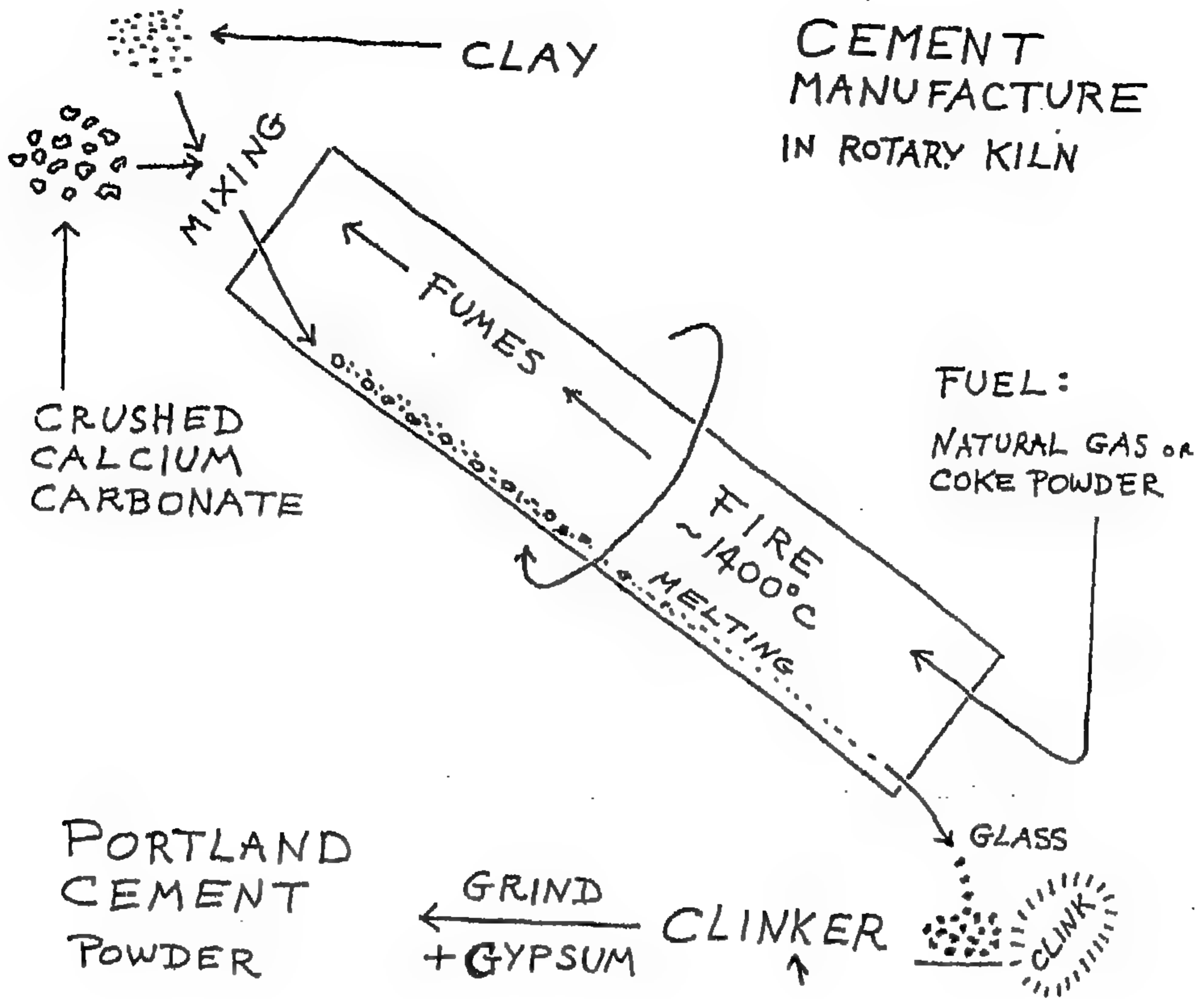
كما أنتج Frost ١٩١١م و Vicat ١٨١٨م مواد هيدروليكية عن طريق حرق المارل ( حجر طيني جيري ) أو خليط من الطفلة والطباشير.. وقد أطلق على هذه المواد الهيدروليكية اسم الجير الهيدروليكي Hydraulic lime.

#### ٦-٤ - الأسمنت البورتلاندى Portland cement:

حصل أسبدن Aspdin ١٨٢٤ م (وهو انجليزى الجنسية) على براءة اختراع الأسمنت البورتلاندى ، وقام بتصنيعه عن طريق حرق الحجر الجيرى، ومسحوق الجير المحتوى على الطفلة، وأعاد تسخين الخليط فى درجة حرارة تراوحت بين ١٠٠٠ - ١٢٠٠ °م - والمنتج النهائى سمي الأسمنت البورتلاندى ، لأن لونه كان يشبه حجر البورتلاند Portland stone وقد كان هذا المنتج أقل جودة إذا ما قورن بالموصفات الحديثة للأسمنت .

التطور التكنولوجى للأسمنت حدث بمعرفة مساعد أسبدن ويدعى Jonson عام ١٨٣٨م حيث اكتشف جونسون أن زيادة درجة إحراق مواد الأسمنت بحيث تتراوح درجة الحرارة بين ١٤٠٠-١٥٠٠ °م تسبب انصهار جزئى للسيليكات وتصبح زجاجية بعد التبريد .

وحديثا يستخدم الفرن الدوار لصناعة الأسمنت . انظر الشكل رقم (٣٨).



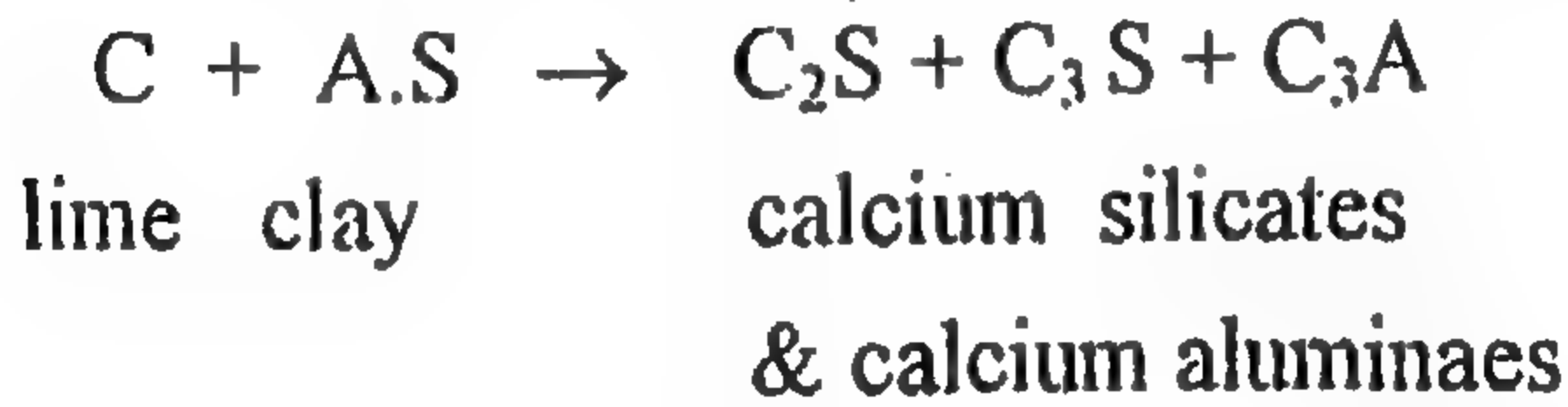
شكل رقم (٣٨) يوضح

خطوات صناعة الاسمنت البورتلاندى بواسطة الفرن الدوار

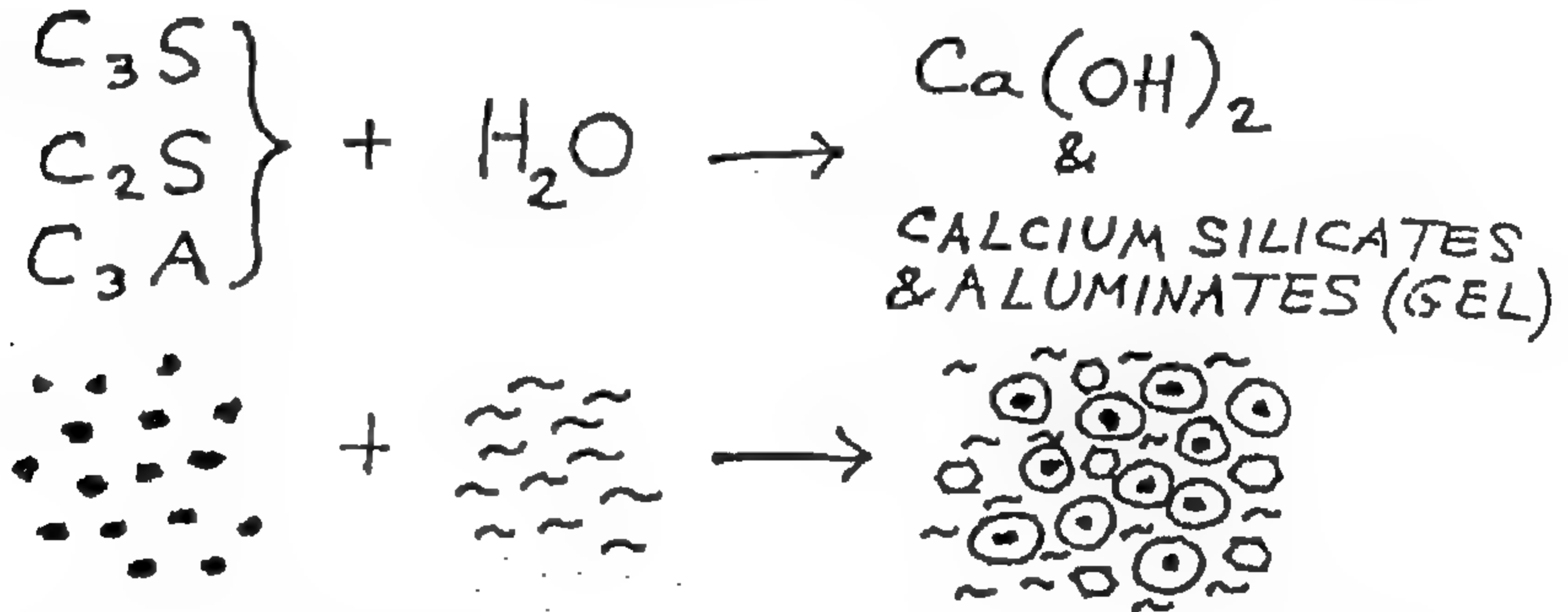
حيث تَخلط الخامات بعد فرزها، بالنسب الصحيحة، وتوضع داخل الفرن الذى تصل درجة حرارته إلى ١٤٠٠ م. وتخرج الخامات من الجانب الآخر فى شكل كتل زجاجية تسمى كلنكر Clinker يتم تسلمها من الفرن، هذه الكتل سريعة التفاعل مع الماء، وعند شكها تكون كتلة لدنه من مادة هشه نوعا فى وقت قصير .

وبالرغم من ذلك فإنه بعد عدد قليل من الأيام قد تتكون مادة صلبة نوعا ما، وتستمر تفاعلات الشك داخل المادة ويستمر معها تحسن الخواص الميكانيكية .

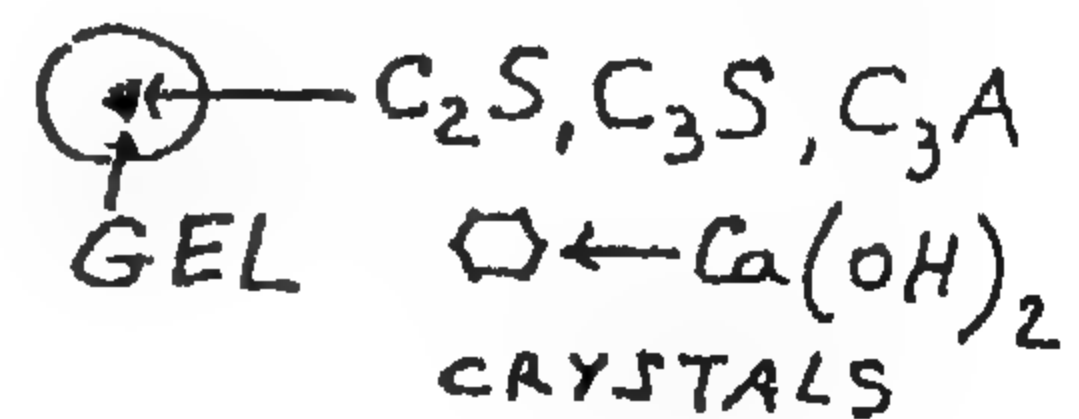
وعادة تحدث اختبارات صلاحية الأسمنت بعد حوالى شهر من الصناعة، هذا على الرغم من أنها تتم كل ستة أيام . وطبقا للأساس النظرى فإن عملية شك الأسمنت تتم بداية داخل الأفران حيث تتكون سيليكات والومينات الكالسيوم ، نتيجة لتفاعل الجير الناتج عن اضافة الحجر الجيرى ، مع السيليكات الموجودة فى الطين - كما هو واضح من المعادلة الآتية :



سيليكات الكالسيوم والألومنيوم الناتجة عن التفاعل تتحد مع الماء وتكون هيدروكسيد كالسيوم مع مادة جيلاينية ( GEL ) تحتوى على كالسيوم أقل من المركب الأساسى ، وذلك طبقا للمعادلة التالية



HYDRATION OF  
PORTLAND CEMENT





**جدول رقم (٦) يوضح**  
**الرموز المستخدمة في كيمياء الأسمنت**

Name of Compound	Chemical Formula	Abbreviacion
Alumina	$Al_2O_3$	A
Iron Oxide	$Fe_2O_3$	F
Lime	Ca O	C
Slaked Lime	$Ca(OH)_2$	CH
Silica	Si O <sub>2</sub>	S
Water	H <sub>2</sub> O	H
Carbon Dioxide	CO <sub>2</sub>	C
Suiphur Trioxide	SO <sub>3</sub>	S
Tri-Calcium Silicate	3CaO SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Di-Calcium Silicate	2CaO. SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Tri-Calcium Aluminate	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Calcium Iron Aluminate	4CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF
*Calcium silicate Hydrate	CaO-SiO <sub>2</sub> -nH <sub>2</sub> O	CSH
**Calcium Aluminate Hdrate	CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . nH <sub>2</sub> O	CAH

\*A family of compounds with varying C/S ratios and water content Example.

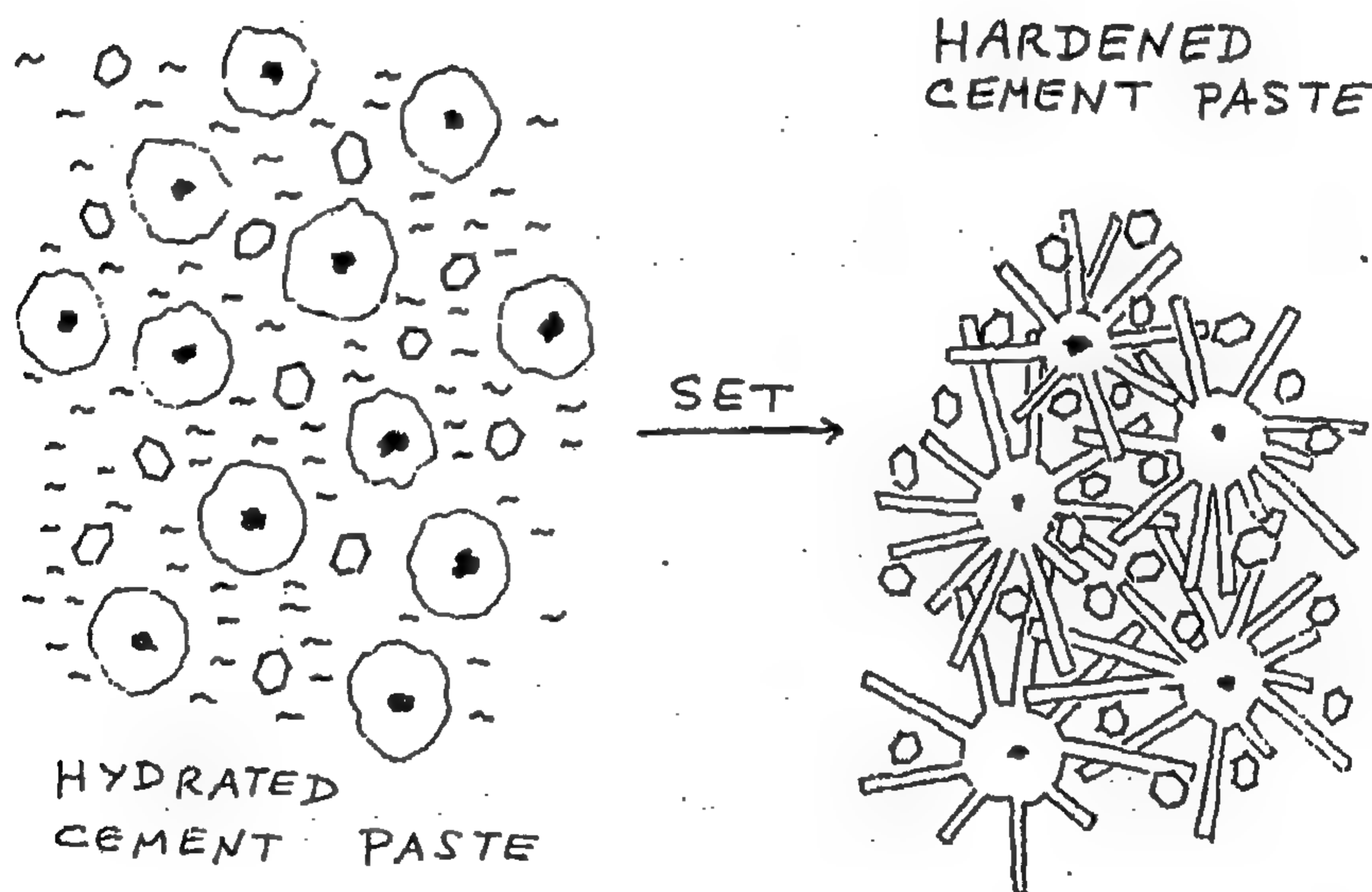
Tobermorite  $C_5S_6H_2$ .

\*\* A family of compounds with varying C/A ration and water content.

وأثناء تصلب الاسمنت تصبح مياه الخلط قلوية جدا (H 12-13) وذلك بسبب وجود الجير الحر . وفي مرحلة أخرى فإن المياه تتخلل الجزيئات الصلبة في ( الجل ) المتكون ، ويستمر التفاعل داخلها مؤديا إلى تكوين سهام ليفية Fibrous shoots تتكون بصفة أساسية من: سيليكات الكالسيوم المائية ( CSH ) .

وفي النهاية يتكون شكل شبكي من خلال المادة الكاملة التي تسبب التصلب .

وبعد جفاف الجير المتكون أثناء التفاعل يتحول ببطء شديد إلى كربونات الكالسيوم وتبدأ المادة في الحصول على قوتها ومكانتها .



شكل رقم (٣٩) يوضح  
عملية شك الاسمنت البورتلاندى

### ملاحظات :

عادة يضاف الجبس إلى خليط الأسمنت أثناء الصناعة وذلك للتحكم في معدلات تفاعل الشك . والمواصفات القياسية الحديثة تسمح بإضافة كمية تتراوح بين ١-٧٪ من الجبس المائي .

الرموز المستخدمة في كيمياء الاسمنت موضحة في الجدول رقم (٦).

### ٦-٥ - الخرسانة الحديثة Modern concrete:

تصنع الخرسانة الحديثة من : اضافة الرمل والزلط أو كسر الصخور Crushed rocks إلى الأسمنت ، مع مراعاة النسب الصحيحة للخلائط وكذلك الخلط الجيد للكميات .

ويلاحظ أن المواد الخرسانية الهشة أو الصلبة تقاوم اجهادات الضغط بصورة جيدة ، لكنها لا تقاوم اجهادات الشد.

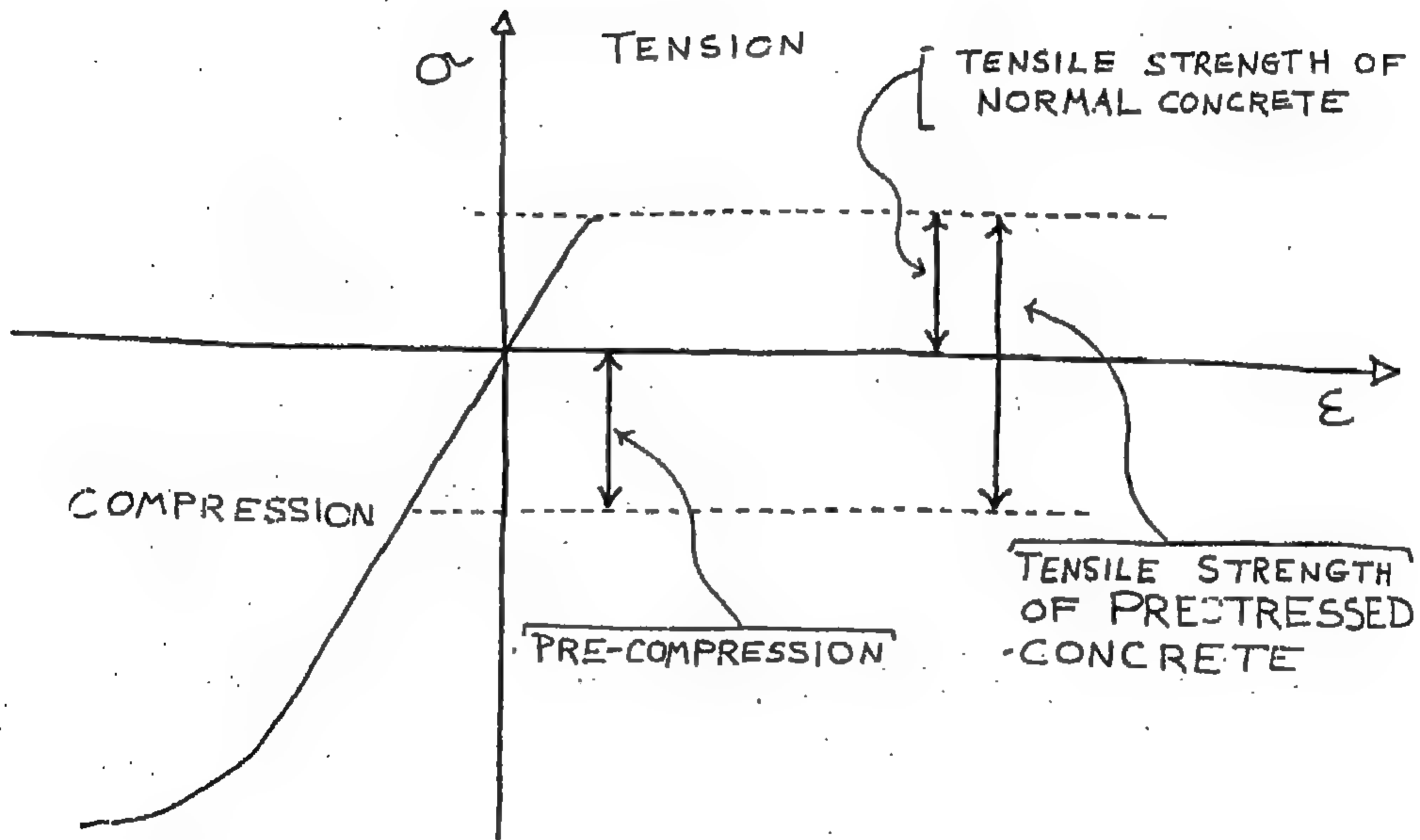
وضعف مقاومة هذه المواد لاجهادات الشد أمكن التغلب عليها حالياً باستخدام الحديد كمادة تسليح للخرسانة حيث أن الحديد له مقاومة عالية لاجهادات الشد.

### الخرسانة المسلحة Reinforced concrete:

الحديد هو أكثر المواد شيوعاً في الاستخدام لتسليح الخرسانة وذلك لأن له تقريبا نفس معامل تمدد الخرسانة (١٢ × ١٠<sup>-٦</sup>) كما أن الأسمنت يلتصق جيداً بسطحه .

على الجانب الآخر فإن الأسمنت أثناء عملية الخلط يخلق بيئة قاعدية (High pH) وهذه تقلل من معدلات تآكل حديد التسليح.

وحديثاً تم تحسين خواص مقاومة الشد للخرسانة ، وذلك باستخدام  
 تكنيك الخرسانة سابقة الاجهاد Pre-stressed concrete حيث يتم ادخال  
 أسياخ من الحديد Steel cables داخل الخرسانة ، وهذه تعمل على اخضاع  
 قوى الشد - أى إضعافها - وفى المقابل تقلل من اجهادات الضغط للخرسانة  
 وتكون النتيجة زيادة مقاومة الخرسانة سابقة الاجهاد لقوى الشد . انظر الشكل  
 رقم (٤٠)



شكل رقم (٤٠) يوضح  
 الفرق بين الخرسانة العادية والخرسانة سابقة الإجهاد

## ٦-٦- عيوب الأسمنت البورتلاندى : Defects of portland cement

الأسمنت البورتلاندى لا يحتوى فقط على سيليكات الكالسيوم والألومنيوم بل يحتوى أيضا على كبريتات الكالسيوم ، كما يحتوى أيضا على بعض الأملاح القلوية التى تتكون عندما يستخدم فى صناعته الطفلة ، أو وقود يحتوى على صوديوم أو بوتاسيوم فى عمليات الحرق، مع ملاحظة أن نسبة القلويات فى الأسمنت ربما تصل لأعلى من ٢٪.

وكنتيجة فإن المواد الذائبة كليا أو جزئيا التى تتكون أثناء تفاعلات

شك الأسمنت هى:

1- $\text{Ca (OH)}_2$		CALCIUM HYDROXIDE
2- $\text{Na (OH)}$		SODIUM HYDROXIDE
3- $\text{Na}_2 \text{SiO}_3$	(AND OHER FORMULAS)	SODIUM SILICATES
4- $\text{Na}_2 \text{SO}_4$		SODIUM SULPHATE
5- $\text{Ca SO}_4$		CALCIUM SULPHATE

وإذا تسرب السائل المتكون أثناء تفاعلات شك الأسمنت إلى داخل مسام مواد بناء المباني القديمة ، بطريقة ما ، فإنه قد يسبب بعض الأضرار .. وذلك للأسباب الآتية :

١- ظهور بقع سوداء على سطح الحجر ، بسبب تأثير القلويات على بعض معادن الحجر الجيرى والرملى .

٢- تكون تزهرات غير ذائبة جزئيا من السيليكات وكربونات الكالسيوم مثلما حدث فى معبدى الكرنك وبورو بودور Borobudur هذه التزهرات Efflorescences تشوه سطح الحجر ، وتكون صعبة الإزالة ، وربما أيضا تسبب تلف محلى Locally damage فى سطح الحجر أو الطوب ، وذلك عن طريق اجهادات التبلور Crystallization stress .



٣- اجهادات التبلور القوية تحدث بسبب كبريتات الصوديوم نظرا لكون هذا الملح قابل للذوبان فى الماء .

من أجل ذلك فإنه يجب استخدام الأسمنت قليل القلويات قليل الكبريتات ، لعمل الخرسانة التى قد تكون متصلة بالمبانى القديمة ، ولكن يجب أن نعلم أن هذا النوع من الأسمنت غير متاح دائما، أو غير موجود فى الأسواق .

كذلك يمكن استخدام الحواجز المائية لحماية المواد القديمة من ماء الأسمنت .

#### - بياض ومون الأسمنت Cement plaster & Mortars:

بياض ومون الأسمنت خطيرة جدا إذا استخدمت فى المبانى القديمة، وذلك للأسباب التالية :

- ١- أنها تغذى الأملاح الذائبة فى المبانى القديمة .
- ٢- أنها تتميز بقلّة مسامها ،وبالتالى لا تسمح للمياه بالتبخر بسهولة ، لذلك فإن تسرب مياه المطر خلال الشروخ وتجمعها خلف طبقة البياض الأسمنتي قد تخلق قوى شد خلف هذه المونه سواء عند انخفاض الحرارة ، عن طريق التجمد Freezing أو عند ارتفاع درجة الحرارة ، عن طريق التبخر Evaporation وكنتيجة فإن البياض يتفكك بسهولة من فوق الحوائط ، أو تزداد رطوبة مواد البناء .

٣- الخرسانة الأسمنتية ذات كثافة عالية ، كما أن موادها عالية التوصيل الحرارى ، وأيضا تشجع عملية التكاثف ، لذلك يفضل استخدام الخرسانة



منخفضة الكثافة فى أعمال الترميم للمباني القديمة الرطبة  
. Old damp building

### ملاحظة :

يجب أن يوضع فى الاعتبار أن استخدام الخرسانة المسلحة فى تدعيم المنشآت القديمة يشوبه كثير من الخطر، وذلك للأسباب التالية :

أ - معامل تمدد الخرسانة المسلحة أكثر من ضعف معامل تمدد جميع أنواع الأحجار المعروفة ، وكذلك الطوب .

ب - المواد المكونة للخرسانة المسلحة قوية جدا ، ولها معامل مرونة مرتفع جدا Very High Elasticity Modulus .

ج - تعمل الخرسانة على تنمية إجهادات الضغط والشد ، وذلك بسبب تأثير دورات الحرارة على موادها ، لذلك يجب وضع هذا فى الاعتبار عند تصميم الخرسانة التى يتم ادخالها Inserted فى نظام البناء القديم .

د - المباني القديمة التى يستخدم فى تدعيمها الخرسانة المسلحة تخضع لعوامل التشوه Deformation وذلك لأن الخرسانة تفرغ كل إجهادات الشد المتعلقة بها على المواد الضعيفة المجاورة لها أو المتصلة بها - طوب ، حجر ، مون - وهذه المواد الضعيفة ، تستقبل نصيبها من الضغوط التى تكون عادة أكبر من قدرتها على التحمل ، وبناء عليه تزداد معدلات تحلل وتلف مواد الإنشاء.

## ٦-٧- مون الجير والأسمنت والإضافات الأخرى :

### Lime - Cement Mortars & Other Mixtures:

لكى نحصل على مون جيرية ذات خواص هيدروليكية ، وذات قوة مناسبة ، يجب أن نضيف إلى الجير المائي ، كمية صغيرة من الأسمنت .

على سبيل المثال: تضاف نسبة ١ بالحجم اسمنت إلى ٤ بالحجم جير مائي أى تكون النسبة بين الأسمنت والجير ( ١ : ٤ ) بعد ذلك يضاف الرمل بالكمية المناسبة .

والمونة المتكونة من الأسمنت مع الجير تصبح خالية من بعض عيوب مونة الأسمنت ، وتكون سهلة عند الاستخدام ، ويمكن الاعتماد عليها فى عمليات الترميم أكثر من مون الجير النقية Pure Lime Mortars أى غير المخلوطة بالأسمنت .

لذلك يجب كلما أمكن استخدام أسمنت منخفض القلوية Low Alkali مع مونة الجير المستخدمة فى الترميم لكى نحصل على خليط به أقل نسبة من الأملاح الذائبة .

وهناك طريقة أخرى للحصول على مونة متناغمة، أو منسجمة مع مواد البناء القديم ، وتكون قوية فى نفس الوقت ، حيث يتم تخفيف الأسمنت بكميات الكالسيوم .

وغالباً فإن بعض الأنواع الحديثة من الجير الهيدروليكي Hydraulic limes فى الحقيقة تحتوى على أسمنت مخفف مع موالىء خاملة - غير نشطة - Inert fillers.

## ٦-٨- تلف الخرسانة العادية والخرسانة المسلحة :

### **Deterioration of concrete and Reinforced Concrete:**

الخرسانة العادية القوية قد توهم المرمم بأنها مادة غير قابلة للتلف ، خاصة إذا كانت مانعة للمياه .

أيضا الأحجار الصناعية ، كانت منتشرة الاستخدام في ترميم المباني الأثرية في القرن (١٩ ، ٢٠) وكانت تصنع من كسر الحجر والأسمنت البورتلاندى .

وهذه وتلك ظهر فيها تلف كبير لأسباب عدة :

على سبيل المثال : السقف المتقاطع فى كنيسة St. Paul فى روما ، وتيجان أعمدة برج جرس الكنيسة، ظهر فيها تلف واسع الانتشار حوالى عام ١٨٧٥م وكان السبب فى ذلك التآكل المباشر بواسطة الأمطار الحمضية ، أو نتيجة تكون قشرة سطحية ، ثم تحلل أسقفها بواسطة تأثير عمليات التكاثف فى الجو الملوث .

وبصفة عامة فإن خرسانة الأسمنت تهاجم بواسطة أملاح الكبريتات الموجودة فى الماء ، مثل : ماء البحر .. وأيضا لأن الجير الموجود فى الأسمنت يكون عند تفاعل الشك مركبات الومنيوم ، وكبريتات ( كبريتات الكالسيوم والألومنيوم ) التى تسمى Ettringite وهذه تتبلور مسببة ضغوط داخلية قوية Strong internal stress.

أيضا فإن الخرسانة المسلحة قد تتلف بسرعة إذا حدث بها بعض الشروخ ، وذلك لأن هذ الشروخ تسمح للماء بالوصول إلى حديد التسليح.

وكذلك فإن الجير الحى حول هذه الشروخ يتكربن بصورة كلية ،  
وبعد فترة زمنية قصيرة تظهر قطرات مياه متعادلة أو حمضية .

وبالتالى فإن حديد التسليح الذى يحفظ جيدا يبدأ فى التآكل ويزداد  
حجمه، وينتج عن ذلك ضغوط داخلية تتسبب فى زيادة الشروخ فى  
الخرسانة، وتعجل من عمليات التآكل.

لذلك يجب معالجة شروخ الخرسانة بسرعة عن طريق الحقن  
بواسطة الراتنجات الصناعية السائلة ، مع ملاحظة أنه يجب أن يضاف إليها  
المصلب أو المجدد قبل استخدامها فى عمليات الحقن .

أيضا الشروخ الدقيقة المتشابكة من الممكن غلقها كلية أثناء عمليات  
الترميم وذلك لوقف تآكل معدن الحديد The Metal Corrosion فى  
الخرسانة المسلحة .

\*\*\*\*\*



الفصل السابع  
صيانة الأحجار  
Coservation of Stone





## ٧-١ - التشخيص Diagnosis:

قبل البدء فى علاج وصيانة الأحجار ، يجب أولاً دراسة عوامل التلف التى تؤثر فيها ، وتؤدى إلى تلفها ..

هذه الدراسة تشمل :

\* تحديد نوع الحجر ، وتركيبه الكيميائى أو المعدنى سواء فى الأجزاء الأصلية السليمة التى لم يصبها التلف، أو تلك التى أصابها التلف وتحلل أجزائها.

\* معرفة كمية الشروخ بالحجر ، وتصنيفها ، ومعرفة المسام الداخلية وكيفية انتشارها داخل الأحجار ، وذلك لتجنب ازدياد الماء ، ولتحديد بداية الإجهادات الداخلية - راجع الفصل الأول .

إذ أن المياه تشكل عامل أساسى وهام من عوامل تحلل المواد الأثرية حيث أنها تنتشر داخل الأحجار المسامية ، وتتلفها ، كما أنها تنتشر أيضاً داخل الكثير من المواد الإنشائية الأخرى فى المباني الأثرية، وذلك بطرق متعددة ... مثل : التكاثف ، الارتفاع الشعري ، رشح مياه المطر ..

\* مسح عام لحالات الطقس والمناخ .. مثل : الاختلاف فى معدلات الحرارة والرطوبة ، ومستوى التلوث الجوى ، التربة الملحية .. الرياح ..

هذا المسح ربما يمدنا بمعلومات إضافية موثقة عن أصل عمليات التلف المختلفة .. مثل: تبلور الأملاح Salt Crystallization والصقيع Frost التكاثف فى الجو الملوث .

## Condensation in Polluted Atmosphere

\* دراسة بيولوجية .. وذلك إذا توقعنا وجود عوامل تلف بيولوجية .. مثل: الفطريات Algae والبكتريا Bacteria .. التى يجب تحليلها لمعرفة نوعها وطرق مقاومتها .

وكما أوضحنا فى الفصل الأول .. فإن اتحاد عوامل التلف المختلفة تتعلق بالحجر نفسه ، أو بالبيئة المحيطة به ، وربما تكون نتيجة لعدد مختلف من عمليات التلف ..

والدراسات السابقة ربما تناسب حالة واحدة فقط ، وليس كل الحالات. وبصفة عامة فإن الاستعدادات اللازمة لصيانة الآثار يجب أن تتم فقط بعد دراسة وتعريف عمليات التلف ، أو على الأقل بناء هذه الاستعدادات على أساس تجريبى .. وذلك لتجنب الأخطاء التى قد تنتج عن التصنيف غير الدقيق لأسباب التلف على المدى البعيد .

### ٧-٢- التنظيف Cleaning:

يجب تنظيف أسطح الأحجار جيدا قبل تطبيق عمليات التقوية Consolidant والحماية Protective لها .

أيضا يجب أن نحافظ على سطح الحجر نظيفا ، ومحميا من المطر بصفة خاصة، حيث أن مياه المطر قد تتسرب داخل المسام ، وتؤدي إلى تفتت الحجر ببطء شديد Slowly eroded .

ولسوء الحظ فإن عمليات التنظيف المتعددة أو الواسعة الانتشار حاليا، تسبب بعض الأضرار للأسطح المسامية ، وربما تشكل خطر محتمل على الآثار التى يتم تنظيفها فى المستقبل ، أى بعد التنظيف .

أضف إلى ذلك أنه يجب الوضع في الاعتبار أن بعض المواد ، ربما تفقد لو تم تطبيق عمليات التنظيف عليها بطريقة غير سليمة لذلك فإن عمليات التنظيف يجب أن تتم بحساسية خاصة وبتقنيات عالية، خاصة للأسطح المزخرفة أو المرسوم عليها .

وفيما يلي نذكر قائمة بعمليات ومواد التنظيف التي تسبب بعض الأضرار لمواد الآثار :

#### - الأحماض Acids:

تؤدي إلى تفتت غير منتظم لأسطح الأحجار ، كما تؤدي إلى تكوين أملاح ذائبة Soluble salts وهذه يحتمل ادمصاصها داخل مسام الحجر ، مما ينتج عنه إجهادات داخلية Internal Stresses .

ومن أمثلة الأحماض الخطرة على الآثار الحجرية : حمض الهيدروكلوريك Hydrochloric Acid وحمض الكبريتيك Sulphuric acid وحمض النيتريك Nitric acid ، كما يلاحظ أن حمض اليهدروفلوريك Hydrofluoric acid وملح بايفلوريد الأمونيا Ammonium bifluoride أقل خطورة على الأحجار من الأحماض السابق ذكرها ، حيث تكون أملاحا قليلة الذوبان ، ولكنها في المقابل أكثر خطورة على المرمم الذي يقوم باستخدامها في عمليات التنظيف .

#### القلويات Alkali:

مثل الصودا الكاوية Caustic Soda والبوتاسا الكاوية Caustic potash إذا استخدمت في تنظيف الأحجار قد تسبب تكوين أملاح قابلة للذوبان .

### - ضخ المياه Water jets :

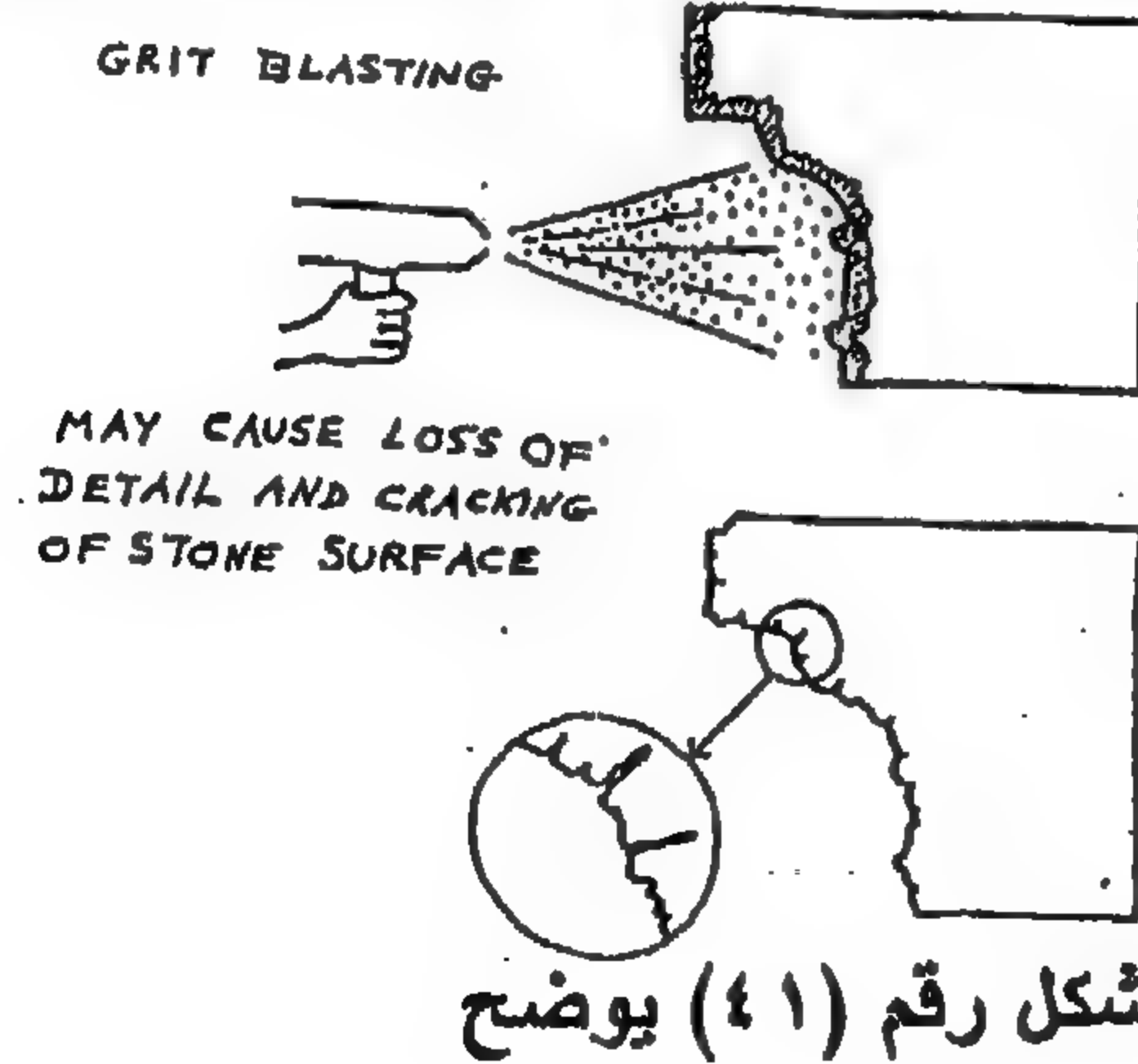
استخدام طريقة إطلاق المياه أو ضخ المياه ، ربما يسبب تآكل عميق للمياه داخل مسام الحجر ، خاصة إذا تم استخدام كميات كبيرة من المياه في هذه العملية .

وإذا تسربت المياه إلى داخل الحجر ، تؤدي إلى زيادة الرطوبة داخل المباني الأثرية ، وربما تعجل من تأثير بعض عمليات التلف أو تتسبب في وجود بعض عمليات التلف.

### - النسف بالحصى Gritblasting :

الحصى الرطب أو الجاف عند استخدامه في عمليات التنظيف بطريقة النسف، قد يسبب ضياع سطح الحجر الذي يتم تنظيفه وتعرض سطح جديد لعمليات التلف.

هذا في الوقت الذي يسبب فيه النسف بالحصى ظهور سطح جديد غير منتظم ، ويحتوى على شروخ عديدة Veryirregular & Full of cracks وهذه النتائج في الغالب تؤدي إلى تسريح معدلات التلف . انظر الشكل رقم (٤١).



طريقة النسف بالحصى لتنظيف أسطح الأحجار ومدى خطورتها

### - النحت أو الكشط Chiselling or scraping :

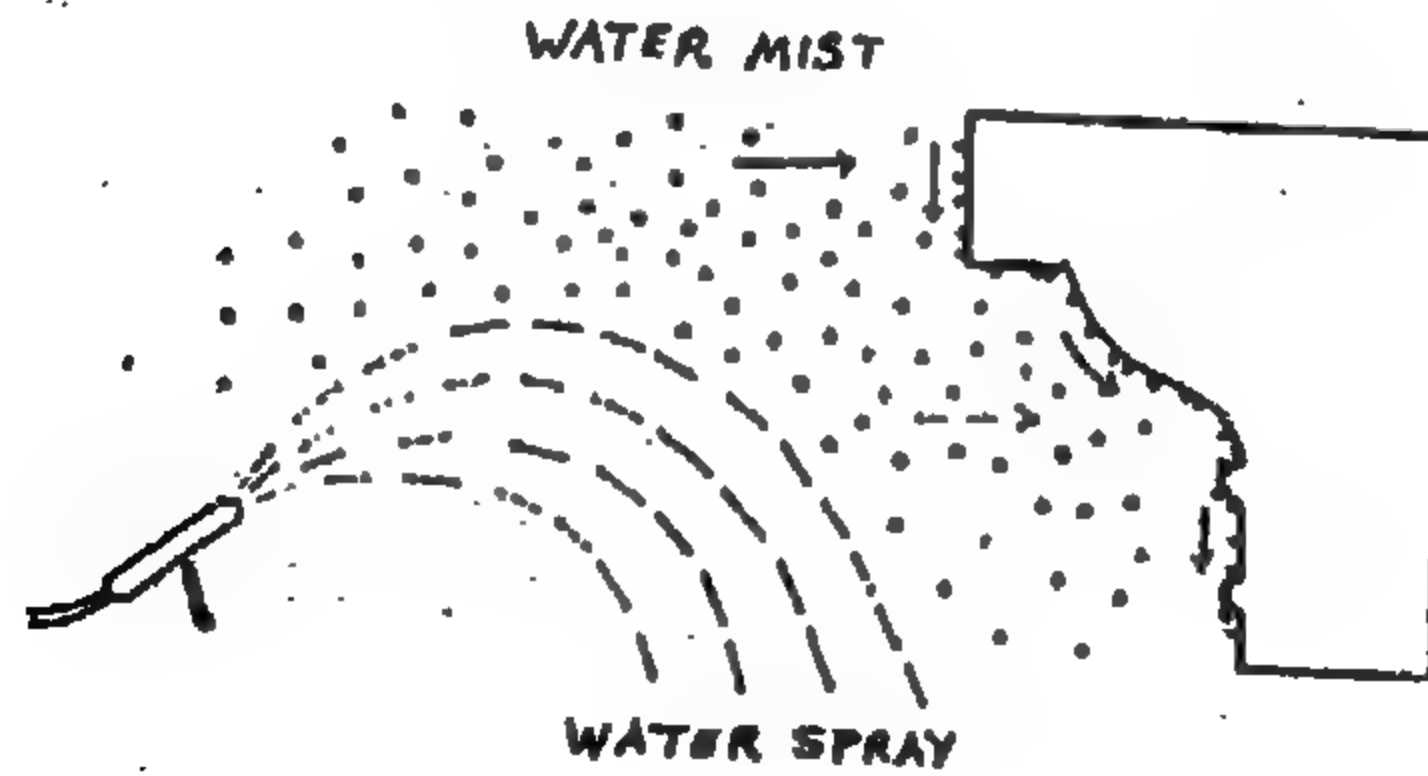
حيث يتم استخدام الادوات المعدنية أو الفرش المختلفة لتعطي نفس نتائج الطريقة السابقة ، لكن على مساحات أوسع .

وبصفة عامة فإن عمليات تنظيف الأحجار فى المباني التاريخية أو الأحجار المستخدمة فى الأعمال الفنية عمليات عالية الدقة ، ويجب أن تتم بحرص شديد ، ومهارة فائقة ، مع ملاحظة إستمرار تطوير هذه العمليات لتناسب كل حالة .

وفيما يلى نذكر أمثلة لأهم الطرق المناسبة للاستخدام فى تنظيف الأحجار فى المباني الأثرية .

### - رذاذ الماء Water mists :

طريقة التنظيف باستخدام رذاذ الماء عملية متخصصة جدا ، وتؤدي إلى تحلل قشرة السناج Soot crust التى قد تغطى الأحجار ، لأن نقط المياه الدقيقة جدا The tiny droplets تتعلق فى الهواء مكونة سطح نوعى كبير ، وخالقة لسطح بينى متسع Creat alarge interface عندما تترسب على سطح الحجر . انظر الشكل رقم (٤٢)



طريقة تنظيف باستخدام رذاذ الماء



### - التسف الدقيق Micro- Blasting:

تتم عملية التسف هذه باستخدام أجهزة تطرد الحصى بقوة كبيرة ، وبسرعة عالية فى صورة عمود دقيق جدا Very narrow beam of grit ويمكن التحكم فى قوى طرد الحصى ، طبقا لنوع الرواسب المطلوب إزالتها، ومدى تماسكها ، وقوة التصاقها بالحجر .

ومن مميزات هذه الطريقة أنه يمكن تطبيقها فى المساحة المطلوب نظافتها فقط ، وذلك حسب رغبة المرمم.

ويلاحظ أنه إذا أحسن إستخدام هذه الطريقة ، وأحسن توظيفها جيدا ، فإنه يمكن التخلص من أو إزالة الطبقات السميكة أو الصلبة من الرواسب غير المرغوب فيها فوق سطح الحجر أو الأعمال الفنية، دون فقد أى تفاصيل، ودون إحداث أدنى تلف بـسطح العمل الفنى على وجه الخصوص.

### - كمادات الطين Clay packs:

تضع كمادات الطين من طينات عالية الإدمصاص ، مثل : طينة Sepiolite وطينة Attapulgate والتي غالبا ماتقوى بألياف سيليلوزيه قصيرة Short cellulose fibres ويخلط بالماء .

هذه الكمادات بطينة النتائج ، إلا أنها آمنة التأثير خاصة على طبقات السناج، أيضا فإنها مفيدة جزئيا عندما تستخدم فى التخلص من الأملاح القابلة للذوبان من مسام الحجر .

### - الهلاميات القلوية Basic Jellies:

حيث تعالج الطبقات المترسبة على سطح الأحجار ، بطبقة من عجينة هلامية القوام ، قاعدية الخواص ( قلوية ) تحتوى على بيكرينات



Bicarbonates وعوامل كيميائية أخرى Chemical agents تعمل على إزالة أيونات الكالسيوم ، وتحفظ بها ذائبة في المياه وتسمى هذه العوامل : عوامل فصل Sequestering agents وهذه العوامل أكثر تأثيرا ، وأنشط فعلا من كمادات الطين على القشرة الصلبة من الرواسب غير المرغوب فيها. المادة الهلامية (جل) تتكون من: لواصلق ذائبة Sluble adhesive مثل: ميثيل سيليلوز Methyle cellulose أو السيليكا جل Silicagel دقيقة الحبيبات Micronized silica، هذه اللواصلق تجعل عجينة البيكربونات سهلة التطبيق على الأسطح الرأسية والامتدلية Vertical or overhanging surfaces دون أن تسمح للساند بالجريان خارج المساحات المعالجة.

وبمقارنة كل طرق التنظيف الدقيقة ، والمناسبة للاستخدام في تنظيف المواد الأثرية ، نجد أنها بطيئة نسبيا، وتحتاج إلى شخص متخصص، ومتدرب تدريباً عالياً على استخدام هذه الطرق.

لذلك فإن عمليات تنظيف المباني الأثرية، أو الآثار بصفة عامة، عمليات غالية الثمن جدا إذا ما قورنت بطرق التنظيف التجارية The commercial cleaning التي غالبا ما يتم تطبيقها عند الحفاظ على المباني غير الأثرية..

بعض الأسطح الحجرية المتحللة تكون ضعيفة جدا بحيث لا يستطيع احتمال أى عمليات تنظيف ، لذلك إذا حدث وتم تنظيفها بطريقة غير مناسبة، ربما تفقد كمية كبيرة من موادها ، وقبل أن يحدث ذلك لابد من معالجة السطح المطلوب تنظيفه معالجة خاصة تسمح بعمليات التنظيف.. هذه المعالجة تتضمن التقوية المؤقتة Temporarity consolidated كان يعالج السطح بأحد الراتنجات الصناعية المناسبة ، من مجموعة ثرموبلاستيك

Thermoplastic ، وبعد ذلك يتم التنظيف باستخدام طريقة النسف بالحبيبات الدقيقة أو طريقة الهلاميات القاعدية .

وأحيانا تتم عمليات التقوية الجزئية بالتناوب مع عمليات التنظيف حتى يتم الحصول على نتائج مرضية ، لإزالة الرواسب المتكلسة على سطح الأحجار .

### ٧-٣- التقوية Consolidation

#### - الأهداف Definition of Aims

نتيجة لعمليات التحلل والتفتت التي تحدث للأحجار عند تعرضها لعوامل التلف ، يحدث أن يفقد الحجر تماسكه ، ويتآكل سطحه لأعماق كبيرة هذامن ناحية، ومن ناحية أخرى قد يتشقق الحجر ، أو تحدث به شروخ ، تسمح بإنفصال شظايا صغيرة Splinters أو قطع كبيرة نسبيا من حواف الشروخ أو الشقوق .

ويكون الهدف من صيانة الأحجار فى المباني الأثرية أو الأعمال الفنية.. هو تجنب أى فقد أو ضياع أى جزء من الحجر مهما كان صغيرا. لذلك فإن عمليات التقوية .. بمعنى إعادة الترابط والتماسك للمادة.. تعتبر من أهم عمليات الصيانة خاصة إذا فقدت الأحجار تماسكها ، وأصبح بقاؤها مهددا بخطر الضياع.

بعض عمليات التقوية أيضا تعطى الحجر نوعا من الحماية ، إذ أنها تعمل على تحسين قدرته على مقاومة العوامل البيئية المتلفة ... مع أن هذه الفكرة ليست دائما صحيحة ، إذ أنه من الممكن أن يتم معالجة الحجر وتقويته،

إلا أنه يظل فى حاجة ماسية إلى معالجات أخرى لحمايته  
.Protective treatment

ويجب حماية الحجر المعرض لبيئة سيئة أو بيئة عدوانية  
An aggressive enviroment عن طريق طبقة حماية قربانية  
Sacrificial protective layer أى طبقة حماية مؤقتة يمكن إزالتها كل فترة  
.. هذه الطبقة تنفذ غالبا على شكل طبقة سطحية ، بينها وبين الأصل مسافة  
صغيرة، وتعمل كطبقة واقية ، تقى السطح المعالج من العوامل البيئية المتلفة،  
وكلما أصبحت هذه الطبقة غير قادرة على تأدية وظيفتها، يتم التخلص منها  
...لذلك أطلق عليها هذا الاسم: طبقة حماية قربانية Sacrificial  
.protective layer

#### - التشبييع Impregnation:

المواد المقوية عادة تكون فى صورة سائل ،وعندما تعالج الأحجار  
بالمقويات وتتخلل الأخيرة سطح الحجر ، وربما تمتد إلى أعماق كبيرة بعيدا  
عن السطح ، حتى تصل إلى الجزء السليم من الحجر The sound core  
of the stone وتؤدى فى النهاية إلى ارتباط الأجزاء التالفة التى كان من  
الممكن إزالتها بالأجزاء السليمة .

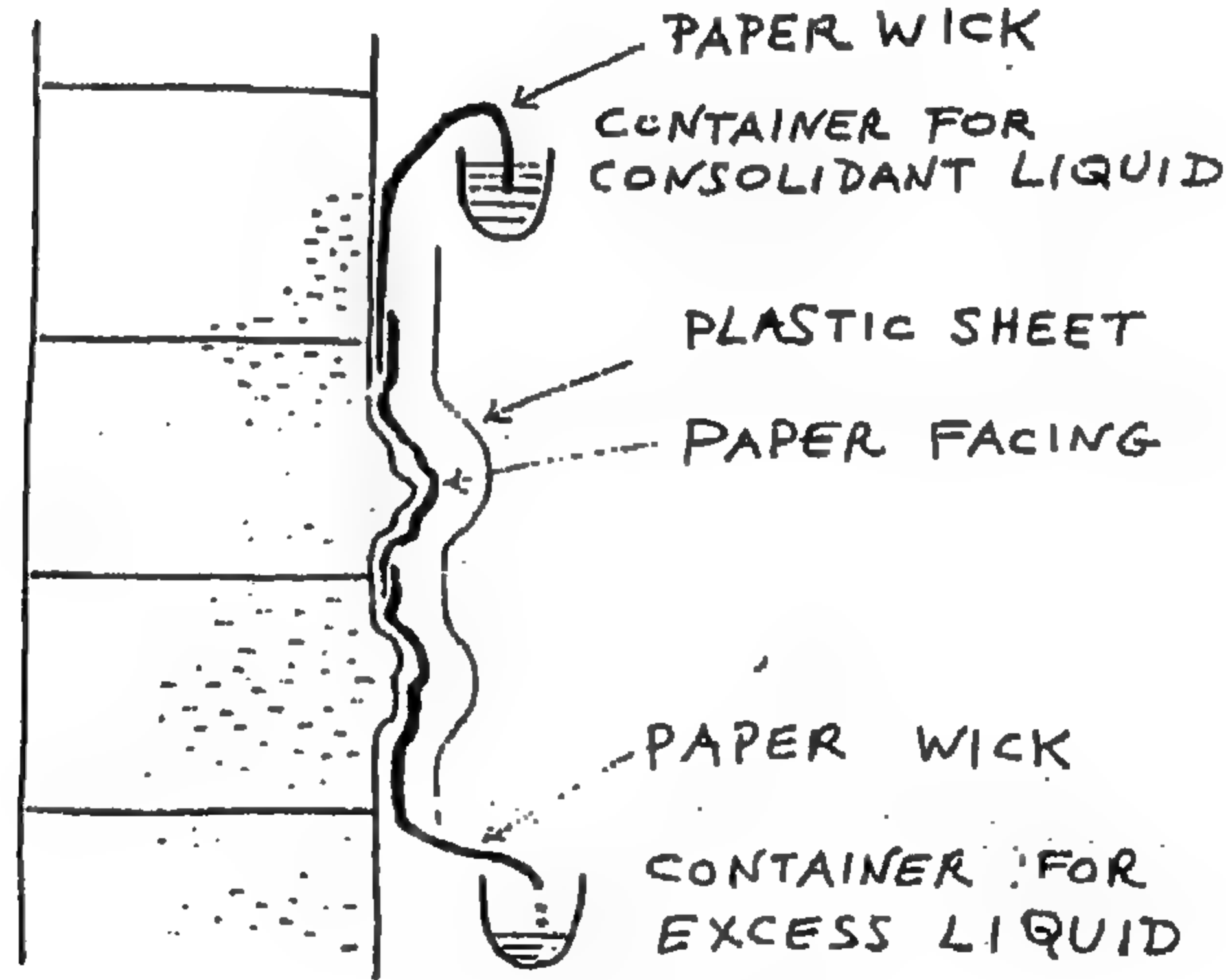
وهذا هو الهدف من عملية التشبييع بالمقويات وتكون عملية التشبييع  
سليمة وصحيحة ، وأدت الغرض منها، عندما تصل المادة المستخدمة فى  
التقوية عن طريق التشبييع إلى لب الحجر Core of the stone وتؤدى إلى  
ترابط وتماسك جميع مكوناته .

ومن السهل تنفيذ عملية التشبييع للأحجار التى يتم نقلها إلى المعمل  
،وذلك عن طريق نقعها فى محلول مناسب ، حيث يمكن إنجاز هذه العملية

بنجاح خاصة فى الأحجار الصغيرة ... ويزداد نجاح المرمم فى تنفيذ عملية التشبييع ، إذا تمت فى جو مفرغ من الهواء Under a vacuum حيث أن إزالة الهواء من المسام الداخلية فى الحجر ، يسمح بإحلال السائل المقوى كله وبالتالي تزداد فرصة المقوى فى التغلغل وملئ المسام الداخلية للحجر وربط جميع مكوناته .

وفى حالة الأحجار المستخدمة فى البناء والتى لايسهل نزعها ونقلها إلى المعمل لتجرى لها عملية تشبييع بتفريغ الهواء أو فى جو مفرغ ، تظل التقنيات التقليدية هى الأمثل دائما عند تقوية هذه الأحجار .

ومن أمثلة هذه الطرق - تكتيك الغطاء الورقى Paper-facing technique. انظر الشكل رقم (٤٣).



شكل رقم (٤٣) يوضح

طريقة التشبييع باستخدام تكتيك الغطاء الورقى لتقوية الأحجار

ويعتمد الأساس النظري لهذا التكنيك على حفظ سطح الحجر وكذلك الغطاء الورقي رطباً أو مبللاً باستمرار لعدة ساعات ، وفي بعض الأحيان لعدة أيام To keep the surface continuously wet مع تجنب عملية البخر التي قد تحدث للسائل المقوى حتى يتم إنجاز عملية التشبييع لأكثر عمق ممكن Until deep penetration.

وفي هذا التكنيك - كما هو موضح في الشكل رقم (٤٣) يتم تغطية السطح بغطاء ورقي Paper sheets يلتصق بسطح الحجر بواسطة لاصق خفيف Light adhesive ويحفظ الغطاء الورقي بعد ذلك وباستمرار مبللاً بسائل التشبييع .

تكنيك آخر في التقوية هو : تكنيك التفريغ Vacuum هذا التكنيك يمكن تنفيذه أو تطبيقه على المواد كبيرة الحجم ، أو على قطاع من مبنى ، وذلك عن طريق لف ورق بلاستيك أو مطاط A Plastic or Rubber Sheet على سطحها، مع عمل مص للهواء Suction بواسطة صمام Valve يمر خلال طبقة الورق " أى يتم تفريغ الهواء من بين الورق و سطح الجدار مثلاً" وبعد ذلك يتم حقن السائل المقوى داخل الحجر من خلال قطاع مناسب، يترك بدون تغطية Left free

- مقويات الحجر Stone consolidants:

يمكن تقسيم مقويات الحجر إلى مجموعتين :

- مجموعة المقويات غير العضوية .

- مجموعة المقويات العضوية .



### أولاً: مجموعة المقويات غير العضوية Inorganic Consolidants:

المقويات غير العضوية ، تشمل : السوائل التي في الظروف المناسبة تكون مواد غير قابلة للذوبان Insoluble substances .

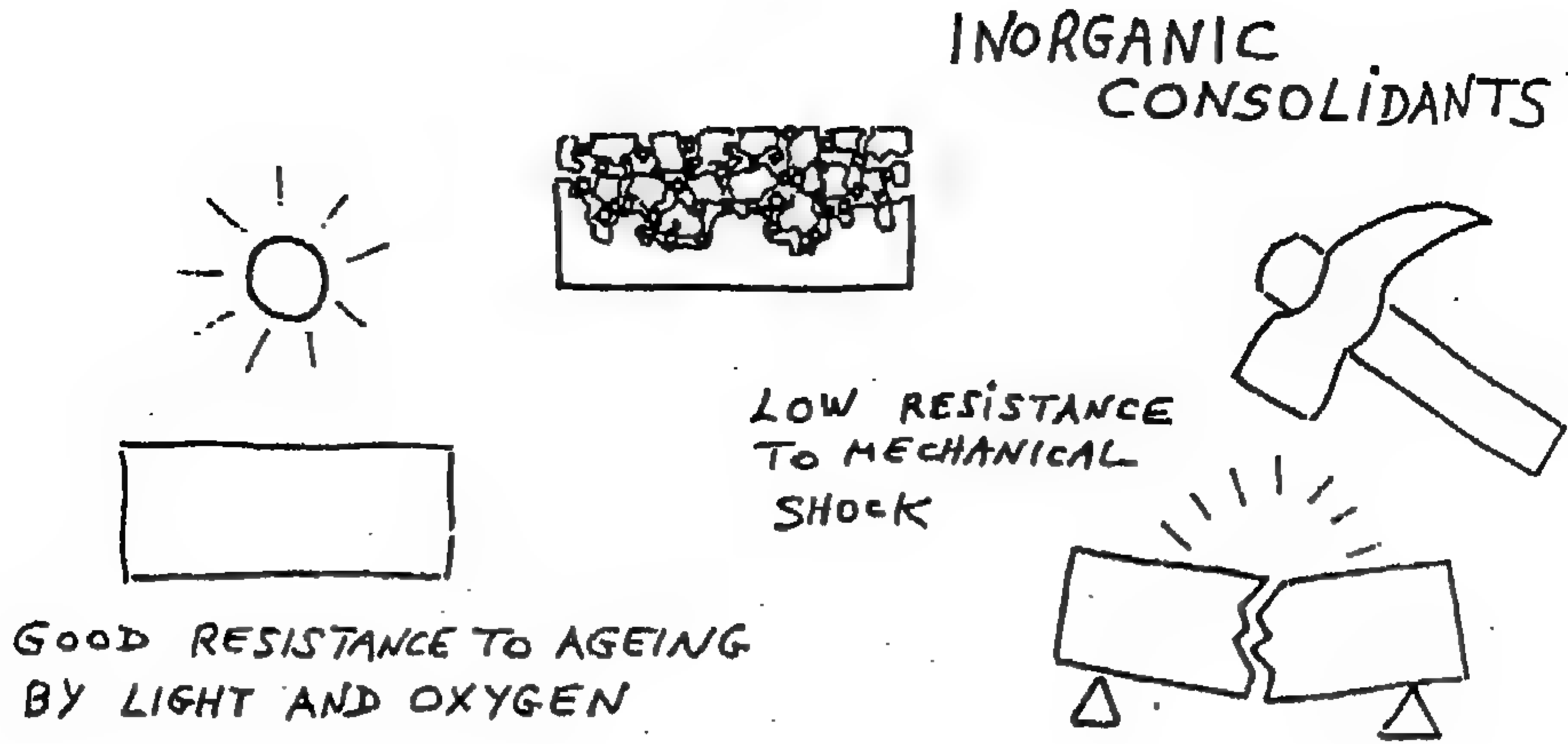
ويجب أن نعرف بداية أن المقويات غير العضوية من خواصها أنها تكون روابط من البلورات المنفصلة عن بعضها في الأحجار المتحللة .

ويعتمد تأثير المقويات غير العضوية في تقوية الأحجار على تكوين السيليكا المائية Hydrated silica مثلاً يحدث في حالة السيليكا والفلوسيليكا Fluosilicates أو تكوين كربونات الكالسيوم أو الباريوم Calcium or Barium Carbonates مثلاً يحدث في طرق التقوية باستخدام الباريوم والجير Lime and Baryta Processes أو تكوين الومينا كما في طريقة التقوية باستخدام الومينات البوتاسيوم Potassium aluminate process.

كما أن بعض المقويات غير العضوية تكون : أملاحاً ذائبة Soluble salts كمنتج جانبي Byproduct في تفاعلات التقوية ، على سبيل المثال : تلك الأملاح التي تتكون بواسطة سيليكات الصوديوم أو سيليكات البوتاسيوم . ويلاحظ أن مثل هذه المقويات التي تكون أملاح تستخدم فقط في حالة اتخاذ الاحتياطات اللازمة لازالة أى أملاح ذائبة تتكون على سطح الحجر بعد التقوية .

كما يلاحظ أن المقويات غير العضوية تتمتع بخواص جيدة ضد القدم Ageing بواسطة الضوء والأكسجين إلا أن أهم عيوبها أنها لا تقاوم الصدمات الميكانيكية . انظر الشكل رقم (٤٤)





### شكل رقم (٤٤) يوضح

مقاومة المقويات غير العضوية لعامل القدم وعدم مقاومتها  
للصدمات الميكانيكية

### ثانيا : مجموعة المقويات العضوية Organic Consolidants:

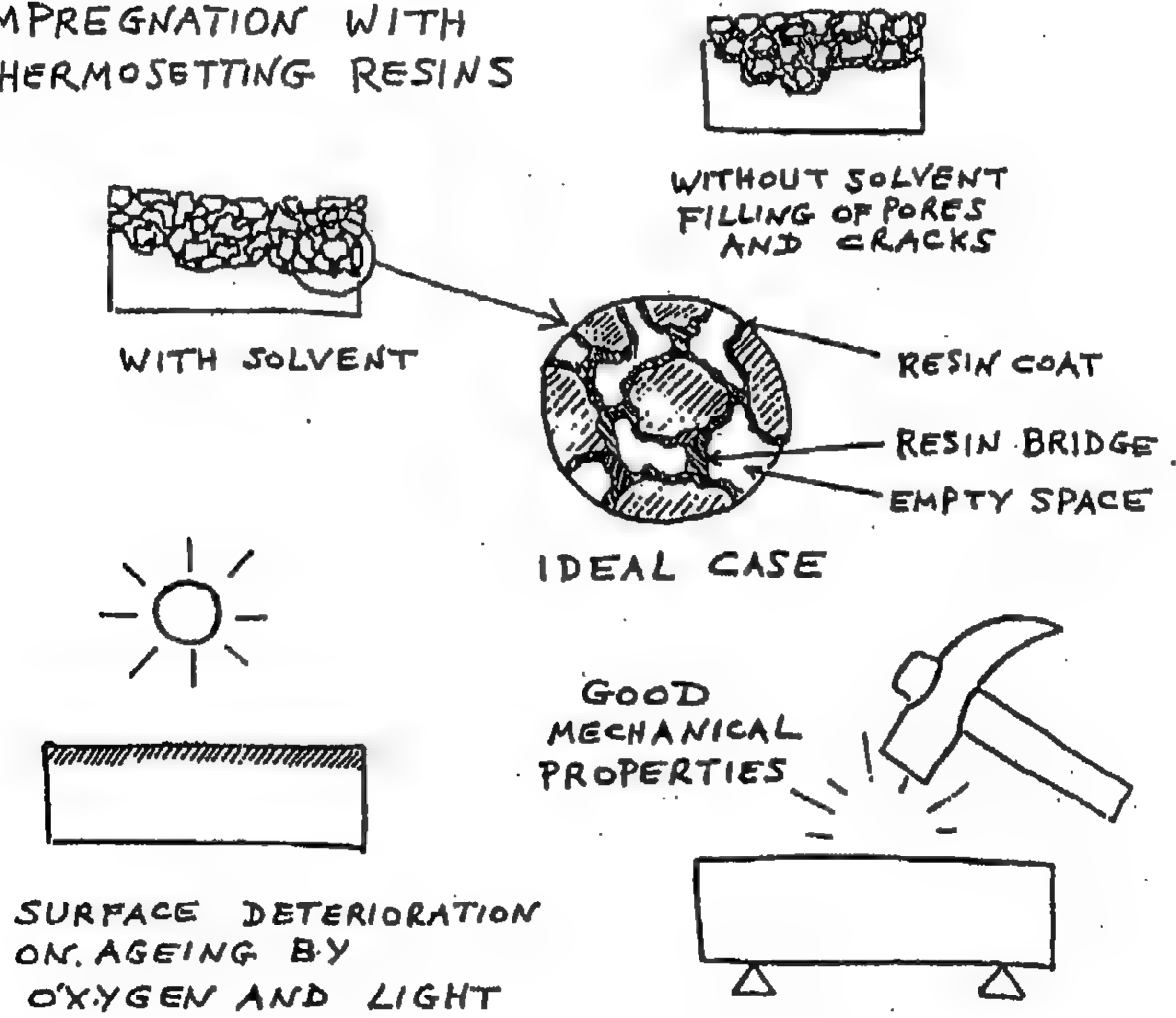
تعتمد هذه المقويات في الأساس على لدائن ثرموسيتنج  
Thermo-setting synthetic plastics التي تستخدم في علاج الحجر .  
وتكون في صورة سائلة ، وتخلط بمجمد أو مصلب Hardener والأخير  
يسبب شك المقوى بعدما يأخذ مكانه داخل مسام الحجر ، أو الشروخ  
الموجودة به .

وتستخدم راتنجات الإيبوكس والبولي إستر في أغراض تقوية  
الأحجار ، وغالبا ماتخلط هذه الراتنجات مع المذيبات Solvents التي تسبب

لزوجتها Viscosity وتؤخر تفاعلات شكلها، وتعمل على ملء كل الفراغات الموجودة في الحجر بمادة الراتنج قبل تصلبه .

ويلاحظ أن المقويات العضوية تعمل على تحسين الخواص الميكانيكية للحجر المقوى، إلا أن الراتنجات نفسها تتحلل ببطء تحت تأثير الأكسجين والضوء ، على عكس المقويات غير العضوية . انظر الشكل رقم (٤٥) كما أن المقويات العضوية تبقى داخل مسام الحجر لفترة طويلة جداً، وتعمل كمادة واقية أو حافظة ضد عوامل التجوية .

#### IMPREGNATION WITH THERMOSETTING RESINS



شكل رقم (٤٥) يوضح

مقاومة المواد العضوية للصدمات الميكانيكية

وعدم مقاومتها لعامل القدم

## - السيليكونات Silicones:

تتميز السيليكونات بخواص المقويات العضوية وغير العضوية في نفس الوقت ، أى أن جزء منها عضوى ، وآخر غير عضوى راجع فصل (١١).

لذلك فإننا نجد أن السيليكونات من الممكن أن تمثل حل وسط بين خواص كل من : المقويات العضوية وغير العضوية عند التقوية .

السيليكونات فى طبيعتها تحتوى على جزء عضوى ، وجزء آخر غير عضوى، لذلك فهى تجمع فى خواصها بين مجموعتى المقويات - كما أسلفنا.

ومن أهم خواص السيليكونات الهامة جدا والمفيدة جدا عند استخدامها فى التقوية ، أنها مواد طاردة للماء ، وبما أن الماء عامل أساسى من عوامل تلف المواد الأثرية ، فإن خاصية طرد الماء Water Replency عامل هام يخفض معدلات تلف هذه المواد .

أيضا فإن السيليكونات تتأكسد بواسطة الأكسجين والضوء ، بصورة أكثر بطئا من راتنجات ثرموسيتنج.

## - المقويات المؤقتة Temporary consolidants:

تستخدم المقويات المؤقتة عندما يكون المطلوب تقوية الحجر فى الحال، ولكن القرار النهائى فى اتخاذ النوع الأمثل فى عمليات الصيانة يجب أن يتخذ ويكون له الأولوية ، وعادة تستخدم فى مثل هذه الحالات ، أيا من راتنجات الثرموبلاستيك أو راتنجات الثرموسيتنج . انظر الفصل (١٠) حسب الحالة التى يراها المرمم .

راتتجات ثرموبلاستيك لانتخل مسام الحجر الصغيرة بسهولة، وذلك لأن جزئياتها كبيرة جدا، أيضا فإن خواصها الميكانيكية أقل من الخواص الميكانيكية لراتتجات ثرموسيتنج.

وبالرغم من ذلك فإن راتتجات ثرموبلاستيك تتمتع بصفة العكسية Reversible حيث يمكن إذابتها وتحويلها إلى حالة السيولة باستخدام أحد المذيبات المناسبة، في حين أن راتتجات ثرموسيتنج والسيليكونات، والمقويات غير العضوية، مواد غير عكسية Irreversible Materials أى غير قابلة للإذابة.

علاوة على ذلك، بعض راتتجات الثرموبلاستيك، وبصفة خاصة، راتتجات الاكريلك Acrylic resins أكثر مقاومة لعملية الأكسدة من راتتجات ثرموبلاستيك.

ولاشك أن عملية اختيار المقوى المناسب للحجر المتحلل تظل عملية صعبة الحل في معظم الحالات، ويجب أن تتم على أسس سليمة، وغالبا ماتتم عملية الإختبار بناء على إختبارات التجوية المقارنة Comparative wathering tests التى تتم على عينات من الأحجار.

فى مثل هذه الاختبارات يتم عمل عينات من الأحجار، ومعالجة بعض منها بمقويات مختلفة، وترك بعضها دون علاج، وتعرض الجميع فى نفس الوقت لدورات التجوية، ويتم بعد ذلك مقارنة النتائج التى يتم الحصول عليها.

كما يعتمد إختيار طريقة التقوية فى بعض الأحيان على نوع الحجر، فالحجر الرملى، يفضل أن يعالج بمقويات من نوع السيليكا فى حين يفضل

معالجة الحجر الجيري باستخدام مقويات من نوع كربونات الكالسيوم أو كربونات الباريوم .

السيليكونات وراتجات ثرموسيتنج يمكن تطبيقها على أى نوع من أنواع الحجر.

#### - اللواصق والمعاجين Adhesive & Stuccoes :

عمليات التقوية عادة لاتسد الفتحات التى تزيد عن ٠.١مم ، لذلك فإننا غالبا مانلجأ إلى المواد اللاصقة ، وذلك لمعالجة الشروخ الواسعة حتى لاتكون سببا فى تجمع المياه داخلها .

لذلك فإنه من أهم متطلبات ترميم الأحجار ، محاولة دمج سطح الحجر Compact surface حتى نتجنب تخلل السوائل الضارة Aggressive Liquids داخل مسامه ، وكذلك لمنع تأثير الملوثات البيئية على السطح ، ويتم ذلك من خلال ملء الشروخ بمادة لاصقة مناسبة ، من شأنها تحسين الخواص الميكانيكية للمنطقة المحيطة بالشروخ، وكذلك غلق الطرق أمام المياه الزائدة حتى لاتتغلغل داخل الأحجار.

وتعتبر راتجات ثرموسيتنج ، خاصة راتجات الإيبوكسى ، فى الحالة السائلة ، من أكثر الراتجات إستخداما فى معالجة الشروخ الدقيقة حيث يتم إستخدامها مع مالء مناسب فى صورة معجون . أما فى حالة الشروخ الواسعة نوعا فيستخدم عادة معاجين تتكون من : مالء مناسب ، عادة بودرة الحجر نفسه ، مع مادة رابطة ، إما أن تكون عضويه - راتنج صناعى - أو غير عضويه - جير نقى أو سيليكات الإيثيل Ethyl Silicate . انظر الشكل رقم (٤٦).



## FILLING OF CRACKS



CRACKED &  
DETERIORATED

I



CONSOLIDATED

II



FILLED WITH  
STUCCO

III

شكل (٤٦) يوضح

أسلوب معالجة الشروخ والفجوات داخل الأحجار .

١- شروخ وفجوات .

٢- الشروخ والفجوات بعد تقويتها .

٣- الفجوات بعد ملئها .

٧-٤- الحماية Protection:

- الأغشية السطحية Surface Films:

طريقة استخدام الأغشية السطحية لحماية سطح الحجر طريقة قديمة،

استخدمت في الماضي ، وما زالت تستخدم حتى الآن .

والمواد التي استخدمت لهذا الغرض شملت : الزيوت الجفوفه مثل :

زيت بذر الكتان Linseed oil والدهن الحيواني Animal Fats والشموع

Waxes وشمع البرافين Paraffin wax.



ولكى يتم استخدام الأغشية السطحية لحماية الأحجار يجب تنفيذها فوق سطح قوى ونظيف ، وعادة يكون العلاج جيدا، إذا كان سطح الحجر لم يتعرض مسبقا لظروف التجوية Unweathered أما الحجر الذى تعرض للتلوث بسبب التجوية، فيجب أولا تنظيفه ، إذا كان متسخا Dirty وتقويته إذا كان ضعيفا .

هذا وتعطى طبقات التغطية السطحية حماية جيدة فى حالة الأحجار قليلة المسامية، أما فى حالة الأحجار عالية المسامية فقد يحدث أن تتسرب المياه إلى الحجر من طرق جانبية غير السطح ، وفى هذه الحالة ، فإن زيادة المياه تؤدي إلى نمو الضغوط الداخلية Internal stresses فى السطح البينى (بين الغشاء والحجر).

وبالرغم من ظهور مواد كثيرة ، لها خواص جيدة ، وأنواع تجارية منها، تعطى درجات مختلفة من التقوية، إلا أن شمع البرافين - فى العصر الحديث - مازال مستخدما كمادة حماية جنبا إلى جنب مع شمع الميكرو كريستالين Micro crystalline wax.

كما أن راتنجات الأكريلك ، والسيليكونات أيضا مازالت مستخدمة كمادة حماية سطحية لأسطح الأحجار.

وبصفة عامة فإن الاتفاق على استخدام المواد الكيميائية فى عملية التغطية السطحية ، يجب أولا إختيارها لمعرفة قدرتها على حماية سطح الحجر ضد عوامل التجوية من عدمه، وذلك قبل استخدامها كمادة تغطية سطحية ، مع مقارنة نتائج الاختبارات ، واختيار أفضل المواد التى تحقق الغرض .

وقد يكون من الأفضل إختيار مادة حماية لها عمر محدد ، أو عمر إقتراضى معروف ، وذلك لاستخدامها كطبقة حماية قربانية Sacrificial مع مراعاة إتخاذ الاحتياطات اللازمة لتكرار عملية التغطية فور إنتهاء العمر الإقتراضى للمادة المستخدمة فى الحماية .

### - الحماية البيئية Enviromental protection:

لأنك أن التحكم فى عوامل التلف البيئية التى تؤثر على الأحجار تشكل أفضل طرق حمايتها ...

لذلك يرى بعض العلماء ، نقل الأحجار إلى بيئة متحكم فيها ، خاصة الأحجار التى يسهل نقلها .. كالتماثيل الصغيرة .. وغيرها .. ولكن هذا الحل لا يكون دائما ملائما لكل أنواع الأحجار ، خاصة ، تلك المستخدمة كمادة إنشاء.

لذلك إقتراح العلماء حلا آخر .. وهو إستخدام طبقة حماية مؤقتة Temporary protection حيث يتم عزل سطح الحجر باستخدام طبقة عزل حرارية معتمه An Opque Thermal Insolation Layer على شكل خزائن عرض كبيرة .

ويجب أن يكون واضحا ، أنه يتم الإزالة الدورية لهذه الطبقة عندما يصبح الجو صافيا فى المواسم التى يقل فيها تلوث الهواء ، وتتنخفض فيها نسب التكاثف ، ولا يحدث فيها تجمد للمياه داخل مسام الحجر .

وفى هذه الحالة فقط يمكن كشف الحجر ليراه الزوار ، وكذلك ليتم الكشف الدورى عليه وفحصه بمعرفة المسؤولين عن عمليات الصيانة.

أيضا فإن خزائن العرض الشفافة Trans parent show cases حل آخر بديل، إلا أن خطورتها تكمن في أن درجة الحرارة بداخلها ، قد ترتفع بصورة كبيرة ، عندما تتعرض لأشعة الشمس المباشرة ، كما يحدث في الدفيئة Green house أو المباشرة ، كما يحدث في الدفيئة Green house أو مايسمى: تأثير الصوبه الزجاجية Green house effect كما أن التمدد الحرارى الناتج عن ذلك- تأثير الصوبه- يسبب ضغوط مختلفة على الحجر. على جانب آخر فإن تكييف الهواء داخل فترينات العرض غالى جدا، وغير موثوق فيه Unreliable.

الأسقف الخارجية يمكن حمايتها ضد المطر ، ولكن يصعب حمايتها من ظاهرة التكاثف ، لذلك فإن اختيار الحلول المناسبة لمعالجة السطح بطبقة رقيقة واقية يمكن أن يكون حلا مناسباً لحماية سطح الحجر من التكاثف . وبصفة عامة يمكن الوصول إلى حماية بيئية جيدة للأحجار فى الحالات الآتية :

- \* مراجعة نظم المياه داخل المباني ، وفى هذه الحالة يمكن التحكم فى نسب ارتفاع الرطوبة داخل الجدران .
- \* التحكم فى البيئة ، وفى هذه الحالة يمكن وقاية سطح الأحجار من ظاهرة التكاثف.

ولكن فى كثير من الأحيان يصعب تطبيق هذه الاقتراحات خاصة فى حالة الأحجار ذات القيمة الفنية ، الموجودة فى الأسطح الخارجية للمباني ، والتي تتعرض مباشرة لعوامل التجوية الشديدة .

## – الحفظ Maintenance:

كل إقتراحات صيانة الآثار لها زمن محدد ... بمعنى أن كل مادة قد تستخدم في صيانة المواد الأثرية لها عمر إفتراضى ، أحيانا لايمكن توقع إنتهاؤه بدقة ...

لذلك فإن صيانة الآثار أو الأحجار الأثرية يتطلب توقع فترة زمنية محددة ، لنظام صيانة محدد .. يمكن إستخدامه فى هذه الفترة .. وقد لا يصلح فى المستقبل ، حيث يمكن ظهور نظام آخر أفضل منه ...

فمثلا، إذا فشلت نظم الحماية المختلفة المعروفة حاليا - نظم الحماية ضد مياه المطر ، الأغشية السطحية الواقية ، الأسقف ... الخ - قد يكتشف فى وقت آخر، أو فى المستقبل ، نظم أخرى أكثر قدرة على حماية سطح الأحجار من سابقتها ، لذلك يجب باستمرار تطوير نظم الحماية المختلفة للمباني الأثرية ..

كما أن سياسة حماية المباني الأثرية تتطلب تغييرات عميقة فى نظم البناء ، وتدريبات متوالية على خدمات الصيانة .. وهذه تشمل:

تطوير الأدوات، والعدد، والآلات، وإدخال نظام التحكم الآلى Remote Control فى المواد والآلات المستخدمة فى الصيانة .

ويكون الهدف من هذه السياسة تجنب هجوم عمليات التلف بصورة تفوق إجراءات الصيانة ، مما يضر عمليات الترميم ويجعلها غير ذات قيمة . وفى النهاية يجب اعتبار الأحجار القديمة ، مثل مريض فى مستشفى، أو مريض يحظى بالرعاية الكاملة داخل بيته، لذلك يجب عمل تقرير تحليلى Aclinal file مبنى على الملاحظة الدقيقة للأثر ، لكى يمكن إنقاذه بقدر

المستطاع .. كما يجب وضع مثل هذا التقرير بل وكل الحقائق عن الأثر ..  
فورا، وبصورة دوريه أمام المتخصصين لمعرفة حالة الأثر ... كما أن  
الزيارات الدورية المتكررة، والتقارير العاجلة ، تشبه التمرينات الطبية، التي  
يجب فعلها باستمرار بمعرفة القائمين على الصيانة ..



## الفصل الثامن

الطفله والطوب اللبن والطوب المحروق

Clay, Adobe, Bick





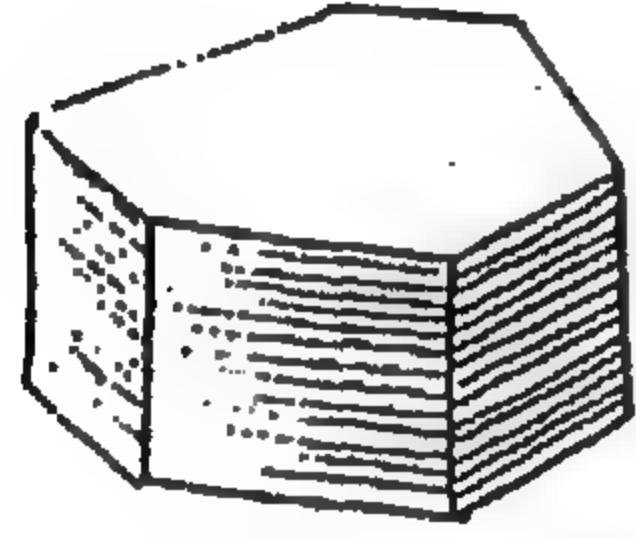
## ٨-١ - معادن الطفلة Clay minerals :

الطفلة عبارة عن : معادن تكونت بواسطة التجوية المناخية Atmospheric weathering لأنواع مختلفة من الصخور .. هذه المعادن تتكون بصفة أساسية من :

- أكسيد السيليكون ، ويسمى أيضا : سيليكاً Silica,  $\text{SiO}_2$

- أكسيد الألومنيوم ، ويسمى أيضا : ألومينا Alumina ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$

وبلورات معادن الطفلة صغيرة جدا ، أقل من ٢ ميكرون ؛ وغالبا تأخذ شكل قريب من السداسي Hexagonal shape وكل بلوره تتكون من عدة منات من الرقائق السداسية الشكل.. كما هو موضح فى الشكل رقم (٤٧).



CLAY  
CRYSTAL



WAFER

شكل رقم (٤٧) يوضح

شكل بلورة الطفلة .. وأحد رقائقها

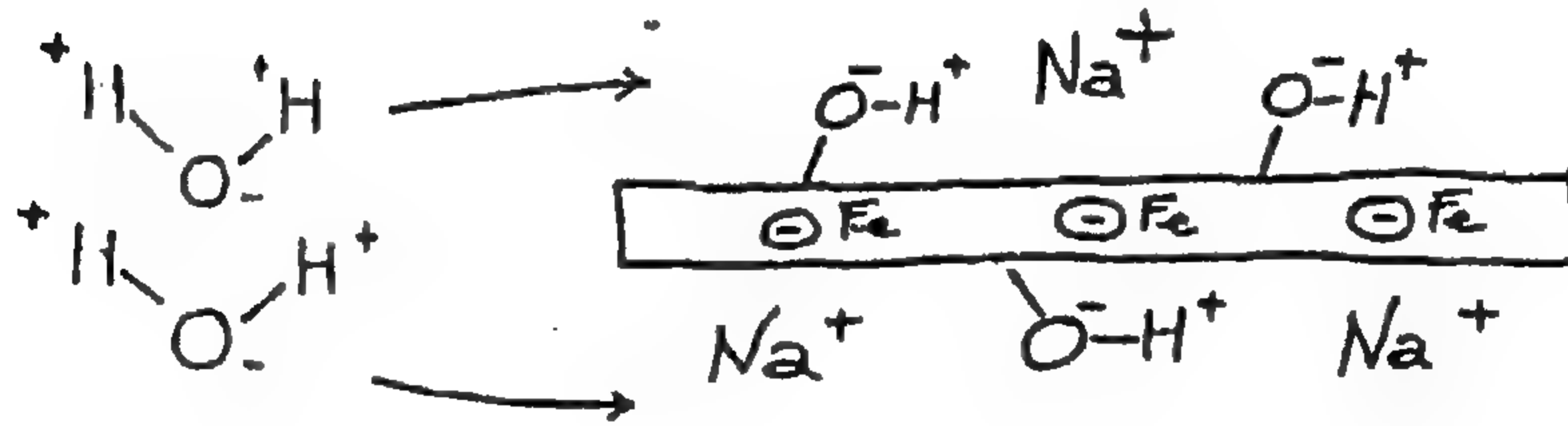
وتتكون الرقيقة الواحدة في معظم الطينيات الشائعة، مثل مونت موريلونيت Montmorillonite أو الليت Illite من طبقتين من السيليكا بينهما طبقة من الألومينا ... كما هو واضح من الشكل رقم (٤٨).



شكل رقم (٤٨) يوضح

تركيب رقائق بعض أنواع الطفلة

وتحمل رقائق الطفلة مجموعات هيدروكسيل ( $\text{OH}^-$ ) وبالتالي تحمل شحنات سالبة Negative charges وذلك طبقا لوجود الشوائب، مثل: الحديد (Fe) الذي يمكن أن يحل محل السيليكون أو الألومنيوم حتى لو كانت شحنتها أقل ايجابية كما هو موضح في الشكل رقم (٤٩).



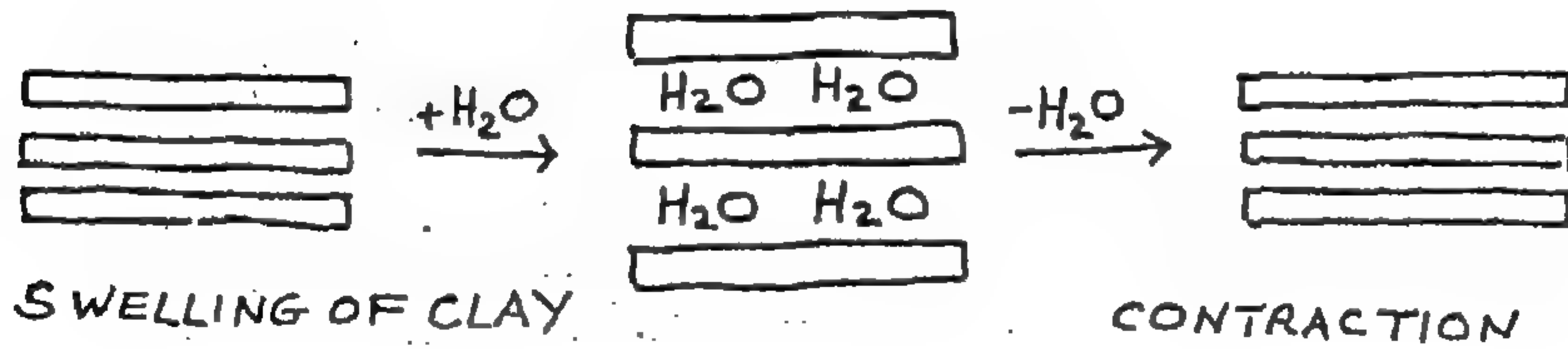
شكل رقم (٤٩) يوضح

أيون الحديد الموجود في الطين

ويلاحظ أن وجود الحديد في الطفلة يسبب لون أصفر أو أحمر عند حرق الطين Fired Clay أو اللون الأخضر عند وصول الطفلة لدرجة الانصهار أثناء الحرق .

معدن مونت موريلونيت .. يحتوى على أيون الصوديوم الموجب الذى يوجد باستمرار بين الرقائق .. هذا الصوديوم يعمل على جذب الماء ، الذى من الممكن أن يتخلل البلورات كما لو تم جذبه بواسطة مجموعات الهيدروكسيل .. ويؤدى إلى انفصال الرقائق .

وزيادة الماء فى الطفلة يؤدى إلى زيادة المسافة بين الرقائق وبالتالى يؤدى إلى انتفاش الطين فى الجو الرطب ... وعندما يتم فقد الماء ، فى الجو الجاف ، يخضع الطين فى هذه الحالة لعملية الإنكماش Contraction. انظر الشكل رقم (٥٠)



شكل رقم (٥٠) يوضح

انتفاش الطفلة وإنكماشها

معدن الليت .. يحتوى على الكالسيوم بين رقائقه ، هذا الكالسيوم  
يسبب تجاذب قوى بين هذه الرقائق ، ولذلك فإن إنتفاش الليت يكون قليلا ...  
معدن الكاولينيت .. أنقى أنواع الطين ، ولا يحتوى على الحديد ،  
ويتكون من : طبقتين من الرقائق ، أحدهما : السيليكات والثانية الألومينا ...  
انظر الشكل رقم (٥١).



ALUMINA  
SILICA

KAOLIN WAFER

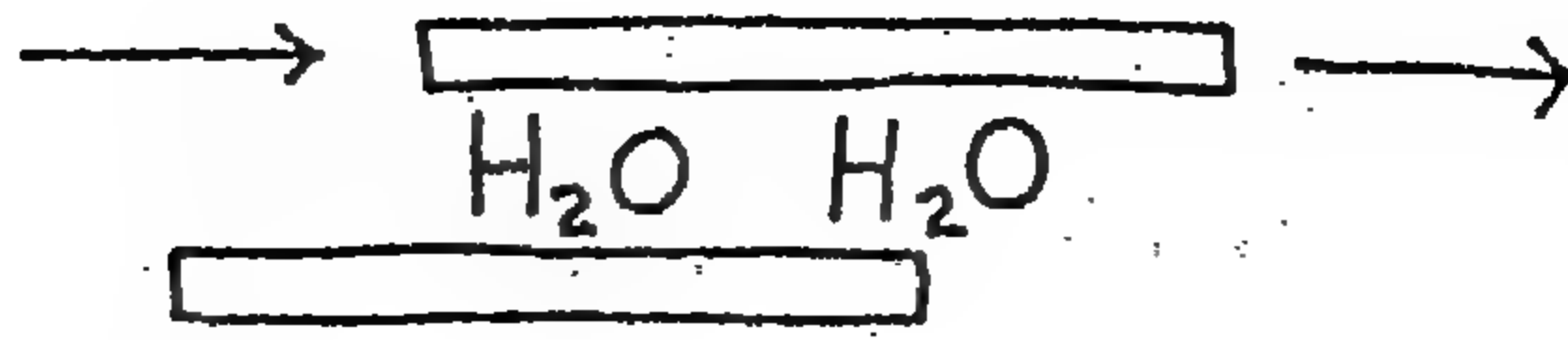
شكل رقم (٥١) يوضح

رقيقة كاولينيت

وكننتيجة فإن الرقائق لاتحمل شحنة سالبة ، ولاتوجد أيونات محشورة  
بينهما، ولكنها ترتبط مع بعضها بواسطة رابطة هيدروجينية قوية ، والماء  
لايمكن أن يفصلها عن بعضها ..

لكن فى بعض أنواع الكاولين يحدث إنتفاش قليل عندما ينجذب الماء  
نحو سطح البلورات الدقيقة المستوية The Thin, Flat Crystals ويستطيع  
فصلها عن بعضها ..

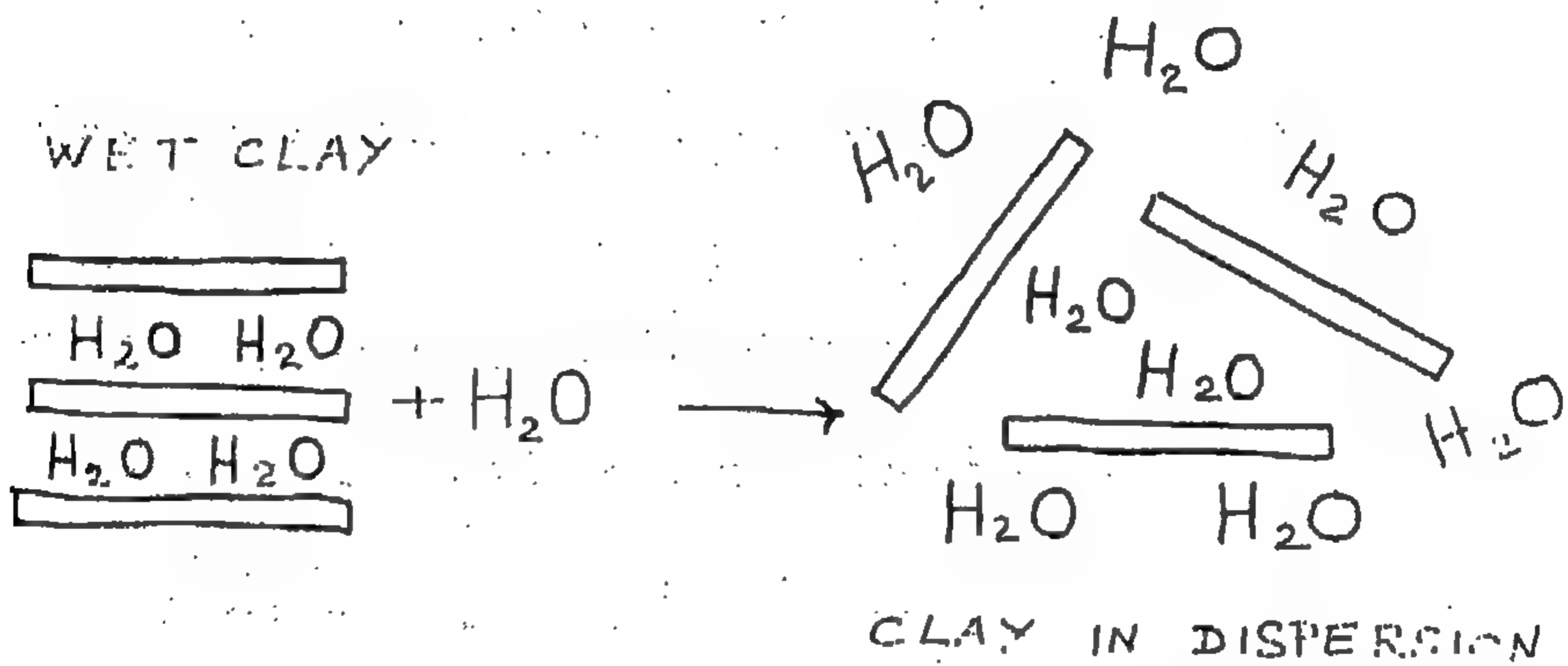
ويلاحظ أن كل الطفلات الطينية تصبح لدنه Plastic عند البلل ،  
لأن البلورات الدقيقة تنزلق من فوق بعضها تحت أقل ضغط  
Under a Slight Pressure انظر الشكل رقم (٥٢).



شكل رقم (٥٢) يوضح

إتلاق بلورات الطفلة عند البلل

وإذا أضفنا مياه أكثر إلى الطينة المبللة ، فإن بلوراتها تتفكك تفككا كاملا، وتصبح منتشرة أو متفرقة Dispersed . أنظر الشكل رقم (٥٣)



شكل رقم (٥٣) يوضح

يوضح تفكك بلورات الطين عند زيادة المياه



تتكون التربة عادة من : معادن الطين ، بالإضافة إلى معادن أخرى ،  
مثل : الفلسبار Feldspar وكربونات الكالسيوم Calcium Carbonate  
والرمل Quartz ... الخ.

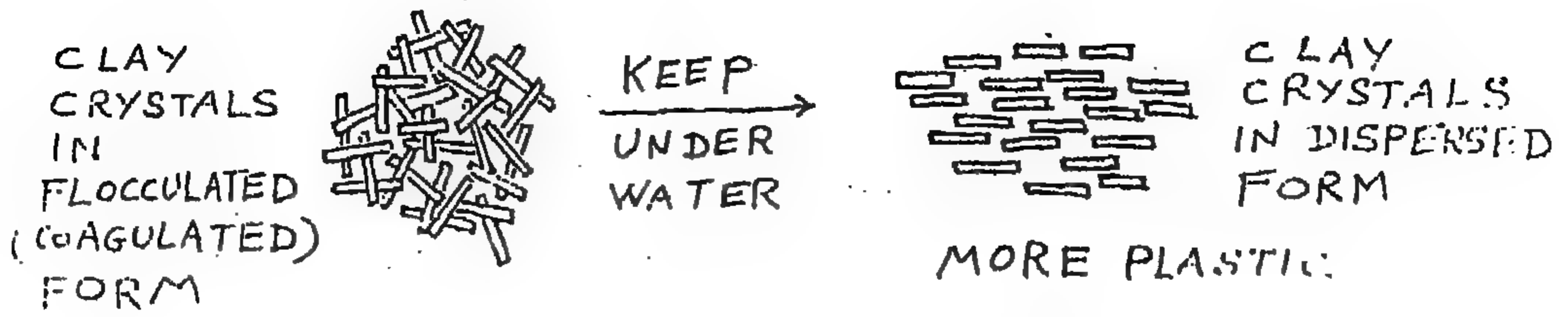
والمعادن الأخيرة غالبا ماتكون حبيباتها أكبر من حبيبات الطين . وقد  
أمكن تصنيف مكونات التربة طبقا لحجم حبيباتها فقط إلى مايلي :

- الطين : أقل من ٢ ميكرون .
- الغرين : من ٢-٢٠ ميكرون .
- الرمل : من ٢٠-٢٠٠٠ ميكرون ( ٢مم).
- الزلط : أعلى من ٢ مم.

والتربة الغنية بالطفلة Clay-rich soil تكون لبنه زيتية الملمس  
Greasy to the touch وعند الجفاف تتكمش بقوة ويحدث بها شروخ أو  
شقوق ، وذلك على عكس التربة الغنية بالرمل A Sand- rich soil التي  
لا تكون لدنه وجافة الملمس Dry to the touch.

#### ٨-٢- التربة كمادة بناء Soil as building material :

تتكون التربة من معادن الطفلة بالإضافة إلى معادن أخرى، مثل:  
الفلسبارات والجير والرمل .. الخ .. كما سبق الذكر ، وتعتبر الطفلة هي  
المادة الرابطة الأساسية في التربة الطينية ، وغالبا ماتترتب بلوراتها في شكل  
إندماجي flocculated Form وهي في هذه الحالة تكون غير  
لدنه Not very plastic لكن عندما يضاف الماء إلى الطفلة فإن بلوراتها  
يحدث بها تغييرات تؤدي إلى تفككها ، وتصبح أكثر لدونه More plastic  
انظر الشكل رقم (٥٤).



### شكل رقم (٥٤) يوضح

شكل الطفلة قبل إضافة الماء إليها وبعد غمرها بالماء

ولكى يتم تجهيز مواد بناء من التربة ، يستلزم دائما تخزين التربة الغنية بالطين لفترة زمنية تحت الماء حتى يتم تحسين لزوجتها .Plasticity

كما أن وجود المعادن غير الطينية يكون ضروريا كمادة حاملة Inert Filler تقلل من إنكماش الطين عند الجفاف، وكذلك تجنبه التشقق. وأحيانا - عند الضرورة - يضاف الرمل، خاصة إذا كانت التربة غنية بالطين، وأيضا ناعمة الملمس .

وهناك إضافات أخرى يحتمل استخدامها مثل :

- أ - ألياف المواد العضوية .. قش الأرض أو التبن أو شعر الحيوان .
- ب - روث المواد العضوية .. ويعتبر لاصق ضعيف ، قليل التكاليف .

ويجب ملاحظة أن : المواد الليفية Fibrous materials تحسن من قوى شد المنتج النهائى حيث تكون قليلة جدا ، على العكس من ذلك ترفع قوى الضغط بصورة معقولة من ١٠-٤٥ كجم/سم<sup>٢</sup> .

أما الإضافات العضوية فمن الممكن أن تحسن قوى الصد أو المنع للماء The resistance to water وتشكل رباط قوى بين رقائق الطين ، وتعوق عملية تفرق هذه الرقائق Hindering dispersion.

#### - صناعة الطوب اللبن :

يصنع الطوب اللبن من قوالب مربعة ، - هكذا ذكر المؤلف ، لكنها فى مصر تكون مستطيلة - ذات زوايا قائمة مفتوحة من أسفل ، حجمها يصل تقريبا إلى واحد قدم ، وسمكها يتراوح بين ٦-١٠ سم.

والمونة المستخدمة فى صناعة القوالب ، تشبه فى الغالب المونة المستخدمة فى البناء .

وعند البناء بقوالب الطوب اللبن ، قد يتم ربطها مع بعضها بمواد أخرى ، وذلك للتغلب على نقاط الضعف فى هذه المباني .. هذه المواد هى :

- \* الخشب: عندما يتطلب البناء مقاومة إجهادات الشد أو الشنى .
- \* حصير الياف النخيل : وذلك لتوزيع إجهادات الضغط فى الإنشاءات الثقيلة .

\* أحبال شجر الأسل : للربط الداخلى فى الإنشاءات الثقيلة .

\* الطوب المحروق : للحماية من التجوية .

\* الحجر : فى الأساسات أو القواعد لمنع الماء من التسرب إلى الحوائط.

وعادة تغطى أسطح المباني التى تشيد بالطوب اللبن ، يشيد الطين ، الذى يقوى أحيانا بمواد ليفية، مثل : التبن أو قش الأرز . وإن كان هذا الشيد يتلف بسرعة .. لذلك يجب تجديده باستمرار .

فى نماذج أخرى لتكنولوجيا البناء بالطين ، يتم تجهيز المواد تقريبا فى شكل كرات، ثم تحفظ مبللة لفترة من الوقت ، وبعدئذ توضع فى أماكنها فى البناء، وتدمك أو تدمج جيدا مع بعضها حتى ينتهى البناء المطلوب.

" أى أننا فى هذا التكنيك لاتصنع قوالب طوب ، بل تستخدم المونة مباشرة فى البناء .. ويسمى هذا النوع من البناء فى مصر: البناء بالطوف ."

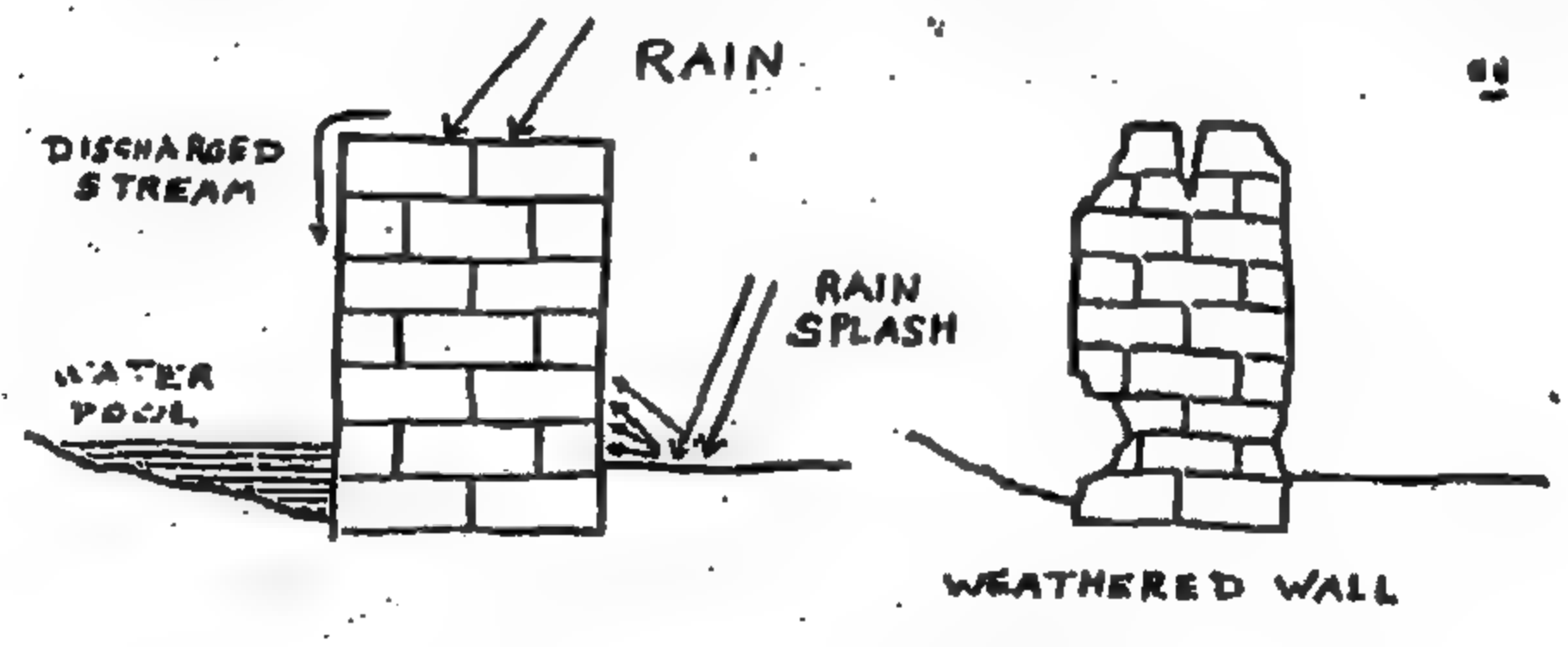
أما عندما تستخدم التربة فى عمل الخرسانة، فإنه يحتمل إضافة حصى أو حجارة أو كسر فخار لمواد التربة ثم تخلط جميعها ويضاف إليها الماء.

٨-٤ - تجوية منشآت الطوب اللبن :

### Weathering of Mud- Brick Structures

**المطر** هو العامل الرئيسى فى تجوية المباني المشيدة بالطوب اللبن، حيث أن زيادة المياه تؤدي إلى تفرق معادن الطين بصورة كاملة ، ثم تزيحها بعيدا عن مكان تواجدها . Washed away .

هذه الحالة تحدث مباشرة ، عندما تتعرض المباني إلى أمطار قوية .. وتحدث بصورة غير مباشرة عندما تسيل المياه على جدران المباني ، أو تشكل برك Pools متصلة بالمباني .. انظر الشكل رقم (٥٥).



شكل رقم (٥٥) يوضح

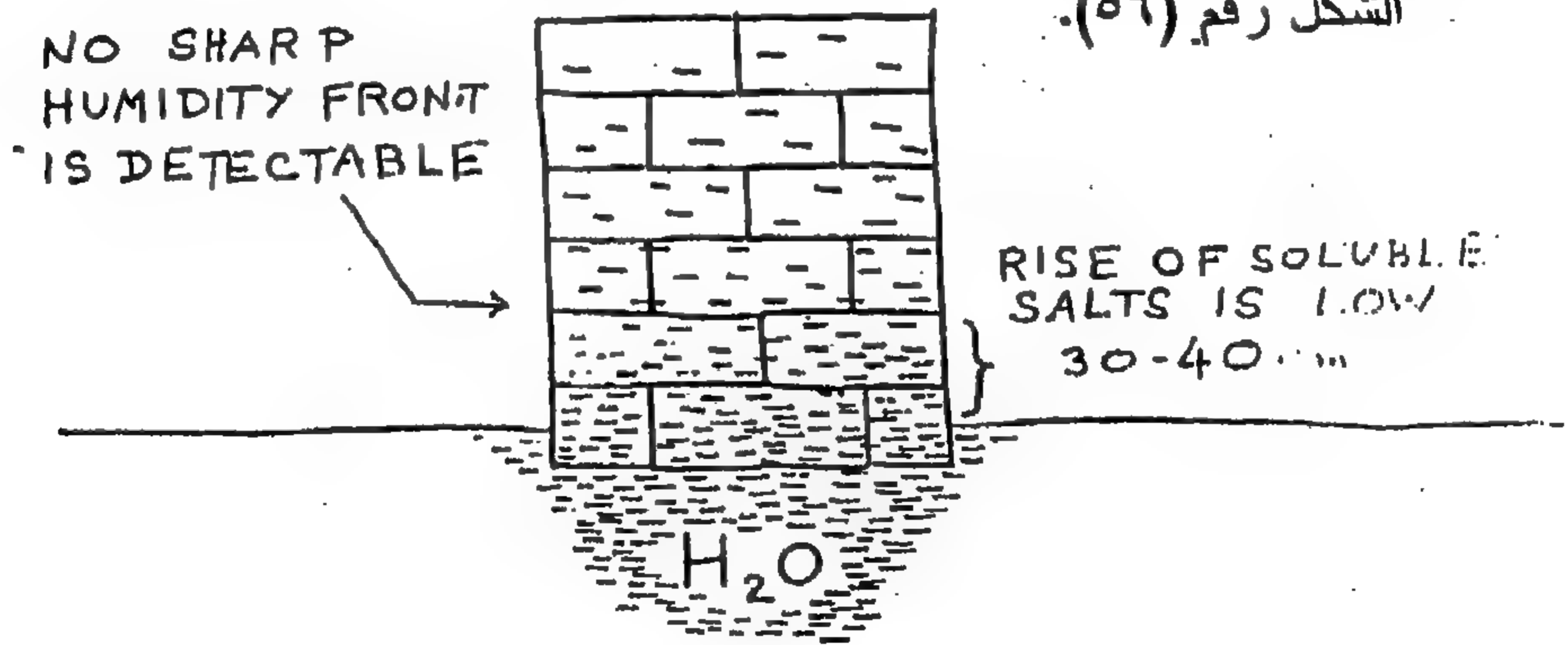
تجوية المباني المشيدة بالطوب اللبن

العامل الثانى من عوامل تجوية مباني الطوب اللبن، الرياح: وهو عامل هام، ويؤثر بصفة أساسية عن طريق الظاهرة المعروفة باسم : النسف بالرمل Sand-Blasting .

العامل الثالث من عوامل تجوية مباني الطوب اللبن ، الثلج : وهو عامل تحلل محتمل ، لو سمح بتراكمه قرب الحوائط ، ثم اذيب بعد ذلك .  
أما عامل الارتفاع الشعري يقل خطورته في مباني الطوب اللبن على العكس من ذلك يزداد في حالة البناء بالطوب المحروق وبصفة عامة لا يتعدى الارتفاع الشعري ٣٠-٤٠ سم في مباني الطوب اللبن ، وذلك لأن المحتوى المائى للحوائط المبللة يختلف طبقا لارتفاع الحوائط وكذلك درجة اتصالها بمصدر الماء .. إذ يقل المحتوى المائى للحوائط فى الأجزاء البعيدة عن المياه .

لذلك فإن الارتفاع الشعري ، وكذلك تبلور الاملاح الذائبة ، لا يشكلان خطورة كبيرة للمباني المشيدة بالطوب اللبن إلا فى حالات خاصة .. انظر

الشكل رقم (٥٦) .



شكل رقم (٥٦) يوضح

الارتفاع الشعري فى مباني الطوب اللبن



## ٨-٥- حماية مباني الطوب اللين :

### Protection of mu9d- Brick Structures

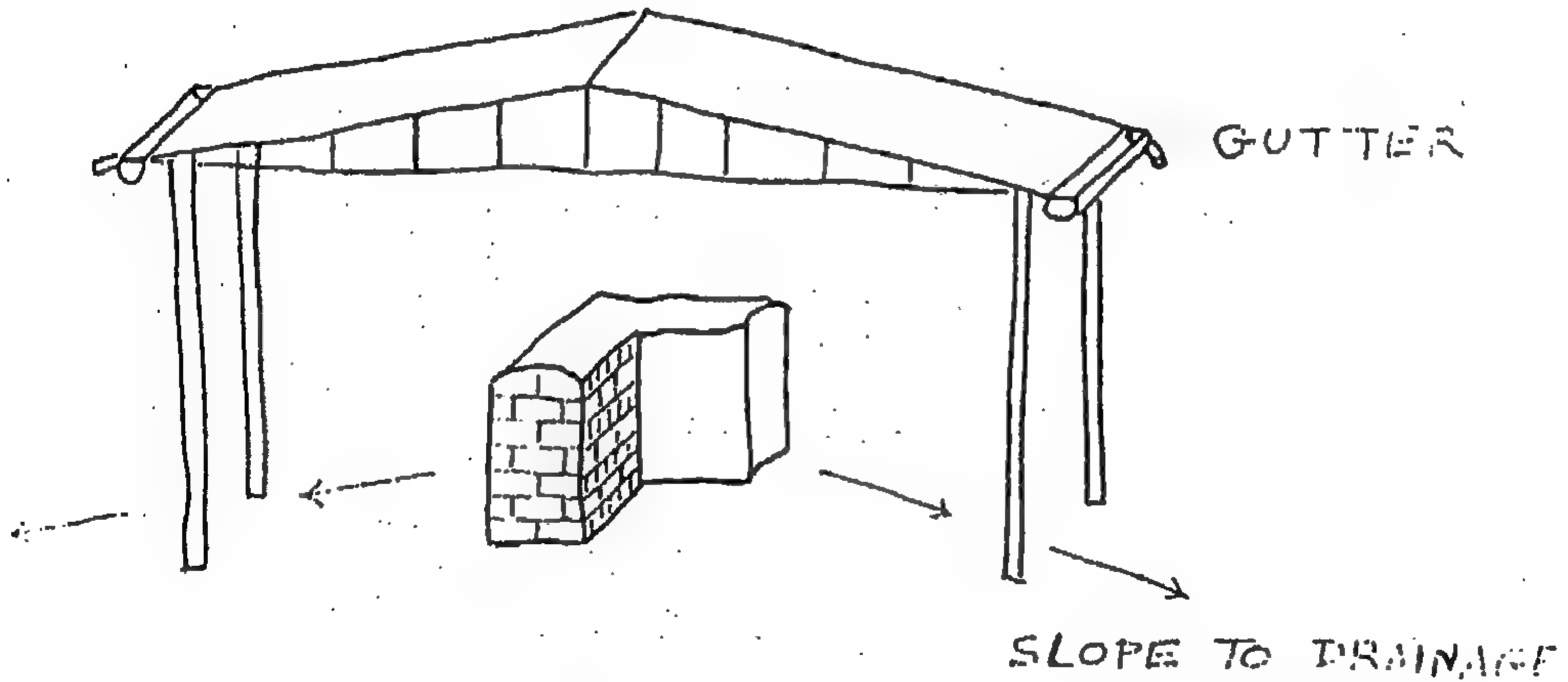
#### - الحفائر الأثرية :Archaeological Excavation

مباني الطوب اللين تحفظ جيدا عندما تكون مدفونه تحت الأرض ،  
لذلك يجب حمايتها مباشرة فور الكشف عنها ..

وفيما يلي نذكر بعض طرق حماية مباني الطوب اللين .

#### أ- العزل التام باستخدام الأسقف Total Protection -Shed

حيث يتم عمل سقف فوق مبنى الطوب اللين مع عمل ميول بالسقف  
تفضى إلى مزاريب جانبية، لتصريف المياه من فوق السقف ، ولا يجب  
السماح بتكوين برك مياه قرب الحوائط ، ويجب عمل منحدرات ، ونظام جيد  
لتصريف المياه .. انظر الشكل رقم (٥٧).



شكل رقم (٥٧) يوضح

اسلوب الحماية بالأسقف للمباني الطينية



ب - العزل التام عن طريق إعادة الدفن :

#### Total protection - Re Burial

حيث ثبت ، أن مباني الطوب اللبن تحفظ جيدا إذا أعيد دفنها في الأرض بعد الكشف عنها .. كما سبق الذكر ..

ج - العزل الجزئي Partial protection :

ويشمل بعض الخطوات نوجزها فيما يلي :

\* ترميم الحوائط وتغطيتها بتربة أسمنتية Soil- Cement أو مونة أساسها الطفلة الطينية والأسمنت ونسب مكوناتها كما يلي :

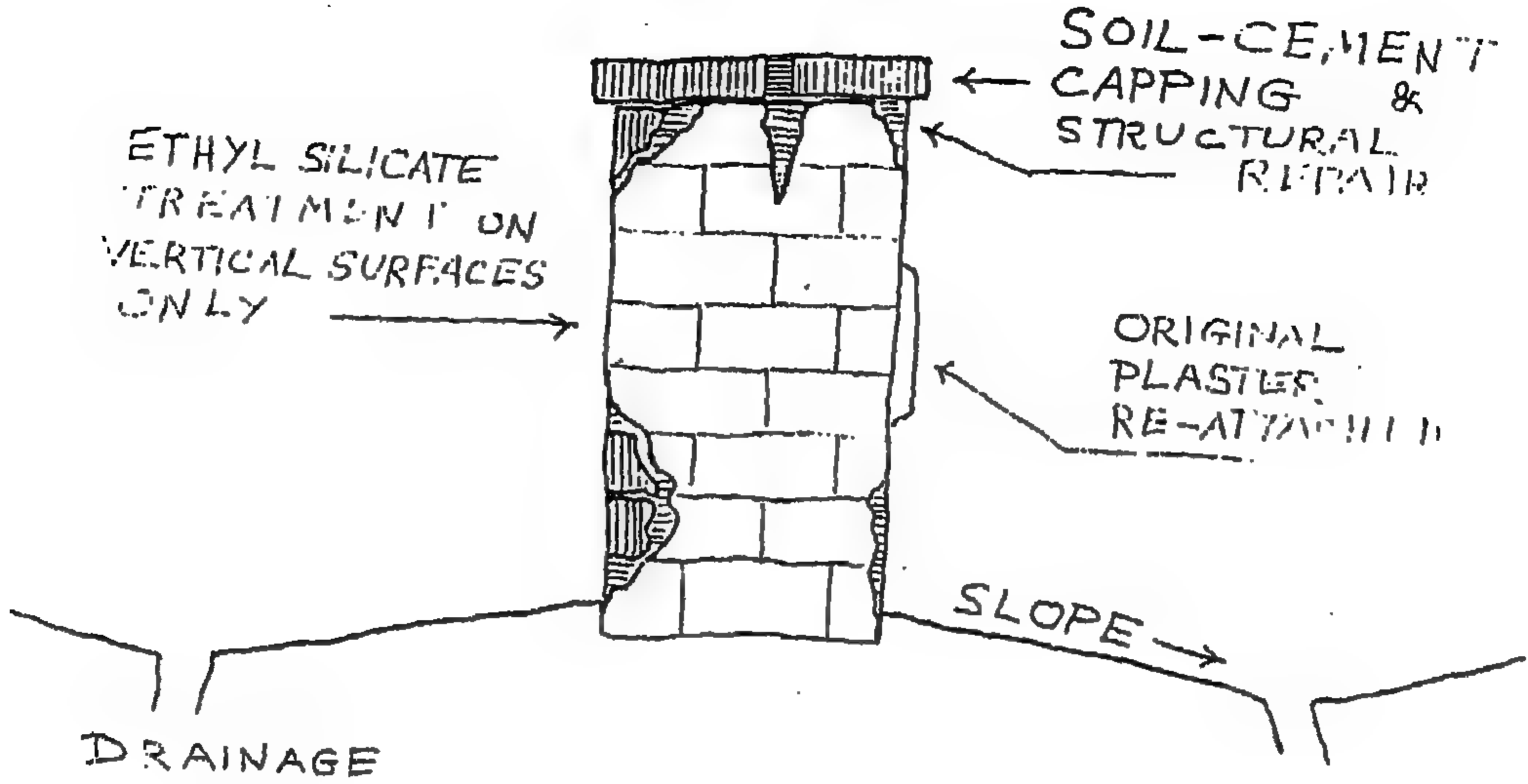
Soil- Cement	Component
Clay - rich soil	8 parts ( volume)
Sand	1 part
Portland Cement	1 part
Straw ( Chopped short)	
Water	

\* تأمين أو حفظ طبقة الشيد مع تقويتها باستخدام اللواصق مثل : مستحلب خلاص بولي فينيل .

\* عمل نظام جيد لصرف مياه المطر .

\* معالجة الأسطح الرأسية فقط بمادة : سيليكات الإيثيل ..

انظر الشكل رقم (٥٨).



شكل رقم (٥٨) يوضح

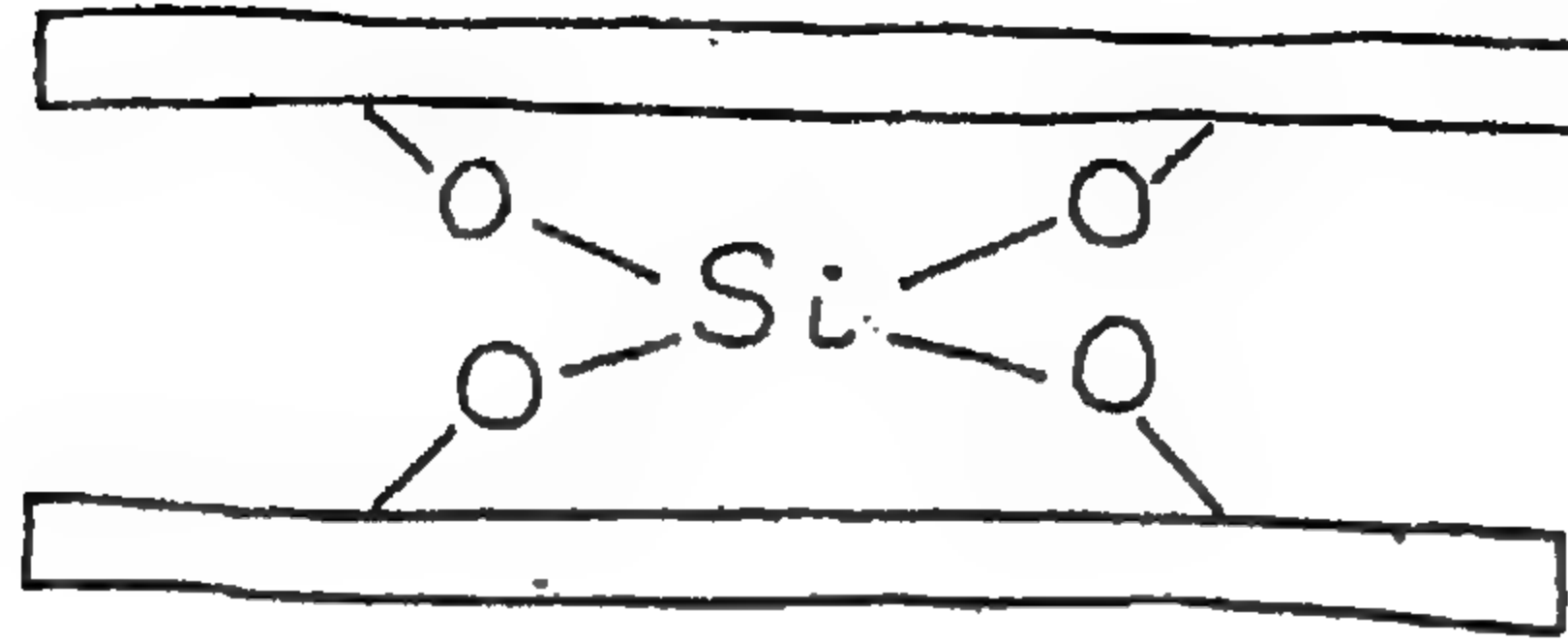
### أسلوب المعالجة الجزئية لحائط مبنى بالطوب اللبن

ويجب ملاحظة أن مونة الأسمنت والتربة Soil-Cement بالنسب السابق ذكرها ، يمكن أن تستخدم في عمل قوالب طوب .. وفي هذه الحالة يجب أن تشكل في قوالب مفتوحة من أسفل ، وتحفظ رطبة لمدة أسبوع حتى يشك الأسمنت ، وبعد ذلك تترك للجفاف تحت الشمس.

وأيضا يمكن استخدام مونة الأسمنت والطفلة، كمعجون لإصلاح الشقوق أو الشروخ الصغيرة ، أو تستخدم لعمل طبقة تغطية رقيقة A thin capping layer كما هو واضح في الشكل رقم (٥٨).

كما يجب ملاحظة أن سيليكات الإيثيل المستخدمة في حماية الأسطح الرأسية ، تتحلل بالماء في وجود عامل مساعد Catalyst ( حمض مثلاً ) وتكون سيليكاً مائية  $Si(OH)_4$  التي تعمل مثل الكوبرى بين رقائق الطين

وتربطها مع بعضها بأربطة عرضية متقاطعة Cross - Linking ، ويصبح الطين المرتبط بهذه الأربطة مانعات للماء، ولا ينتشر فيه Non - dispersible انظر الشكل رقم (٥٩).



شكل رقم (٥٩) يوضح

روابط السيليكات لرقائق الطين

التخلص من ماء المطر Disposal of Rain water:

يجب أن تدرس مسألة التخلص من مياه الأمطار دراسة كافية ، نظرا لخطورتها .. ومن الممكن استخدام أسلوب عمل مزاريب مناسبة لتصريف المياه من فوق الأسطح أو الأسقف ، وكذلك استخدام أسلوب المنحدرات لدفع المياه تجاه قنوات تؤدي إلى نظام صرف جيد .

٨-٥-٢- المباني فوق مستوى التربة Structures above soil level:

ويقصد بها المباني السطحية ، غير المدفونة ، وهذه المباني يمكن أن تعيش لفترات طويلة ، إذا خضعت للحماية المستمرة .. وأهم النقاط الحيوية اللازمة لحماية هذه المباني هي :

- نظام الأسقف .
- نظام تصريف لمياه المطر .

- تجديد الشيد باستمرار .
- الحفاظ على أساسات الحوائط .
- الاصلاح السريع لمسألة هبوط المباني ، حيث أن إجهادات القص Shear Stress الناتجة عن هبوط المباني ينتج عنها شقوق مختلفة طبقا لضعف قوى شد مواد البناء ، مثل هذه الشروخ تكون خطيرة لو سمح للمياه بالتسرب إلى داخلها..
- وقاية بقايا الطوب اللبن عن طرق إعادة إصلاح السقف من فوقها ، مع عمل نظام جيد لتصريف المياه .
- أخيرا فإن اقتراحات الوقاية الجزئية ، عند عمل حفائر أثرية يجب أن توضع في الاعتبار .

#### ٨-٦- الطوب المحروق - الفخار - الخزف

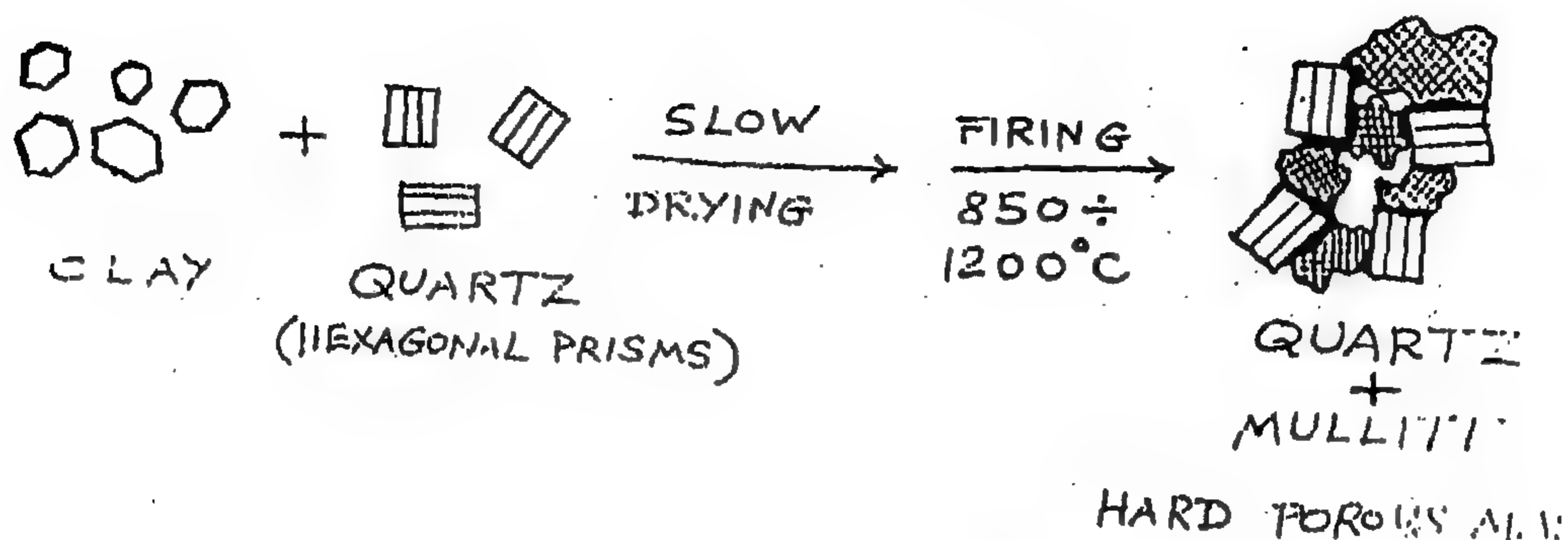
#### Baked Bricks. Terracotta Porcelain

#### - الطوب والفخار Bricks & Terracotta :

يصنع كل من الطوب المحروق والفخار من خلط الطفلة -بصفة رئيسية معدن مونت موريلونيت ومعدن الليت - مع الرمل ..

" ويتم الخلط بنسب معينة لكل من الطوب والفخار .. ويصنع الطوب في قوالب خشبية .. أما الفخار فيصنع في دولا ب الفخارنى ، ثم يترك كلا من الطوب والفخار فى الجو العادى حتى يتم الجفاف ، ويجرى حرق الطوب فى قمائن الطوب .. وحرق الفخار فى أفران الفخار حيث يتم تكسير بلورات الطين عند درجة حرارة تتراوح بين ٨٥٠-١٢٠٠ °م وتتحد بلورات

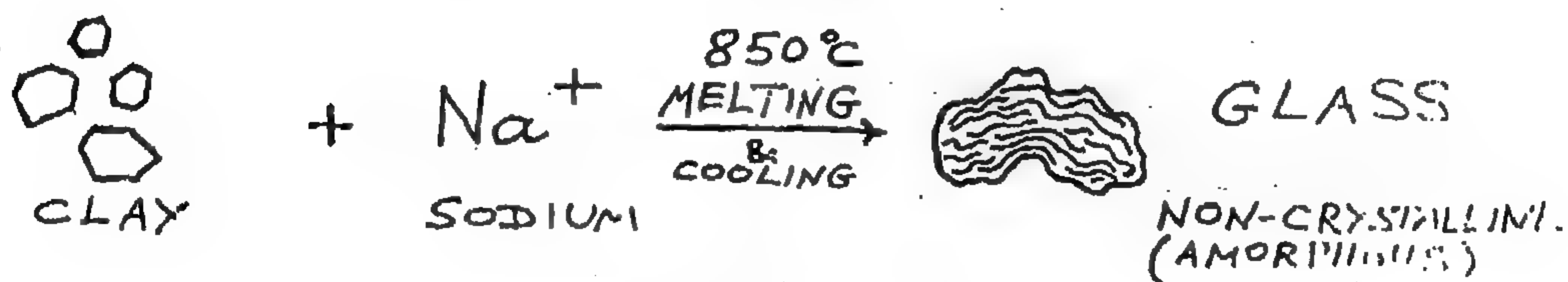
سيليكات الألومنيوم (Mullite) مع الرمل لتكون كتل صلبة مسامية ، غير متبلورة . انظر الشكل رقم (٦٠)



شكل رقم (٦٠) يوضح

نتائج حرق الطفلة الطينية مع الرمل

كما أن وجود البوتاسيوم أو الصوديوم يسببان إنصهار جزئي للطين " والمعادلة التالية توضح التفاعل الذي يحدث بين الطين والصوديوم عند درجة حرارة تصل إلى ٨٥٠ °م ، حيث ينصهر الطين وتتكرر بلوراته وعند تبريده يتحول إلى مادة زجاجية غير بلورية Amorphous.



شكل رقم (٦١) يوضح

معادلة نتائج تفاعل الطفلة مع الصوديوم

كما سبق الذكر فإنه بعد تبريد الطين المنصهر لا يكون تركيب بلوري، ولكنه يكون كتلة صلبة غير بلورية بدلا من التركيب البلوري



الأساسى، أى يكون مادة زجاجية ، والزجاج يعمل كمادة لاصقة Cement بين بلورات الكوارتز والمليت (Mullite).

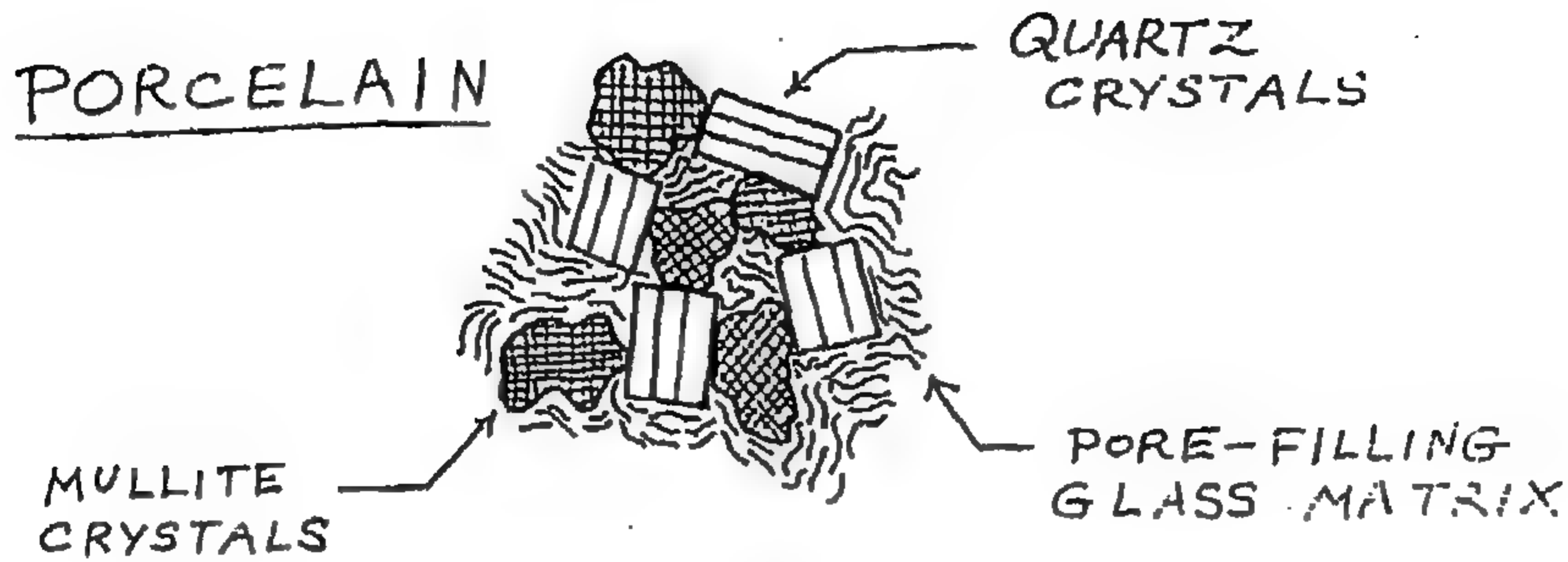
وكقاعدة عامة : عندما تتصهر السيليكات ينتج الزجاج وتعتمد كمية التحول إلى مادة زجاجية Vitriification وقوة الطوب الناتج على درجة حرارة الحريق، وأيضا على مكونات الخليط The composition of the Mixture .

أيضا فإن بعض الطينيات تحتوى على حديد ، لذلك تصفر - أى يصبح لونها أصفر - المواد المحترقة عندما تكون درجة حرارة الحرق منخفضة Low temperature وتحمّر - أى تصبح حمراء. هذه المواد عندما ترتفع درجة الحرارة Higher temperature. بشرط أن يكون الجو محتويا على نسبة عالية من الأكسجين .

#### - الخزف Porcelain:

يصنع الخزف من طينيات نقية جدا Very pure clays من نوع الكاولين غير المحتوى على صوديوم أو حديد ، حيث تخلط بالرمل - كوارتز - والفلسبار - سيليكات محتوية على نسبة عالية من البوتاسيوم - وعندما يسخن هذا الخليط حتى يصل إلى درجة حرارة ١٢٠٠ °م يتكون ملليت Mullite، وتزداد كمية الملليت بزيادة الانصهار ، وذلك طبقا لنسبة البوتاسيوم فى السيليكا .. وعند التبريد فإن كمية الزجاج تكون كافية لملء الفراغات بين بلورات الملليت والكوارتز بصورة كاملة ، لذلك فإن الخزف مادة غير مسامية Not porous . انظر الشكل رقم (٦٢)





شكل رقم (٦٢) يوضح  
عجينة البورسلان ( الخزف )

وهناك مواد أخرى من نفس فصيلة الخزف تسمى سيراميك  
Ceramics وهي عبارة عن مواد متبلورة جزئيا وغير متبلورة في الجزء  
الاخر They are partly crystalline & partly vitreous وتعتمد قوة  
هذه المواد ، ومساميتها على نوع الطفلة ، والمواد المضافة اليها ، أو  
الموجودة فعلا في الطين كالصوديوم أو البوتاسيوم ، وأيضا على درجة  
الحريق .

\*\*\*\*\*

الفصل التاسع  
تحلل المباني وصيانتها

**Concervation & Deterioration of Masonry**



#### ٩-١- الرطوبة فى المباني Moisture in Masonry :

تصل المياه إلى المباني ، إما فى صورة سائلة : عن طريق المص Suction من المواد الرطبة .. أو تخلل Penetration مياه المطر ... أو فى صورة غازية : عن طريق تكثيف البخار من الجو .. ، أو التكثيف الخلالى ( البينى ) Interstitial أى تكثف البخار الموجود داخل المسام والإمتزاز ...

ومن جهة أخرى فإن المياه ممكن أن تترك المسام فى المباني بصفة خاصة ، فى صور بخار ؛ عن طريق عملية البخر ...

لذلك فإن المحتوى المائى للحائط يمكن معرفته وتحديدته عن طريق اتصاله بمصادر المياه Water Sources وأيضا عن طريق ميزان بخار الماء ، أو معدل بخار الماء Water Vapour Balance حيث أن عملية البخر تتم عكس عمليتي التكاثف والإمتزاز ..

ونتيجة لتلك الحقيقة ، فإن معظم الحوائط الواقعة تحت الدائرة الموسمية .. تتمتع فى الطقس الحار بمحتوى مائى عالى فى آخر الربيع - بعد فترات التكاثف فى الشتاء والربيع - كما تتمتع بمحتوى مائى أقل فى آخر الخريف - بعد أن تسود حالة البخر فى الصيف والخريف .. مثل هذه الدورات تكتمل وينشأ عنها مضاعفات ، عندما تكتمل فعالية الرطوبة الناتجة عن العمليات السابق ذكرها ..

أضف إلى ذلك تغير المحتوى المائى الموسمى من عام إلى آخر طبقا للتغيرات الجوية ...

من هنا يجب قياس المحتوى المائى الداخلى فى المباني - إذا أمكن -  
أكثر من مرة فى العام الواحد .. ويجب أن يتكرر القياس كل عام فى نفس  
التاريخ ..

أيضا فإن إزالة طبقة البياض ، أو طبقات الطلاء المانعة للماء يحسن  
معدلات البخر Evaporation مما يؤدي إلى إنقاص المحتوى المائى داخل  
الجدران ..

كما يجب أن يتم تكرار أعمال الإصلاح والصيانة Rehabilitation  
فى المباني القديمة ، فى مواسم جيدة الطقس .. على سبيل المثال : عندما يتم  
إزالة طبقة البياض، واتخاذ الاحتياطات اللازمة ضد الرطوبة ، فى الخريف  
.. فإن تحليل نتائج قياسات المحتوى المائى ، توضح تحسن واضح فى  
العينات التى تم الحصول عليها من قبل بدء العمل ، فى فصل الربيع .

لذلك يتم عمل بياض جديد ، والكل يسعد بهذا العمل . ولكن يجب أن  
يكون واضحا أن ماسبق ذكره فى مثل هذه الحالات ، يجب أن تتخذ  
الإجراءات الاحتياطية الفعالة ضد الرطوبة بقدر الامكان .. وهذه ربما تأخذ  
سنوات عديدة لتحديد أى الإثنين سيتغلب على الآخر - تأثير دورات الرطوبة  
على الجدران ، أو الاحتياطات ضد الرطوبة .

لذلك فإننا نؤكد على التشخيص الصحيح للمشاكل التى تؤثر على  
المباني .. قبل اتخاذ الاحتياطات اللازمة لتجفيف هذه المباني ، خاصة إذا  
كانت مباني تاريخية .

والتشخيص يشمل : قياس درجات الحرارة والرطوبة فى الهواء،  
وداخل المباني فى عدة نقاط ، وفى عدة مواسم .. حتى نتمكن من الحصول  
على نتائج سليمة عن حالة المبنى .

من هنا نرى أن مرحلة التشخيص مرحلة طويلة ، ومكلفة ، ولسوء الحظ أن الكثيرين يعتمدون على التخمين ، إلا أننا يجب أن نقرر أنه من الأفضل الاعتماد على الخبراء ، وكذلك على الأشكال التوضيحية أكثر من الاعتماد على التخمين .

على أية حال فإن Massari قال : في مشاكل الرطوبة .. حقيقة أننا غالبا ماتعدو في اتجاه مضاد لنشكوا الإحساس بالسعادة .  
فالتخمين كثيرا مايكون خطأ ، كما أن تكلفة الفشل غالبا ماتكون مرتفعة ..

#### ٩-٢- الأملاح الذائبة في المباني Soluble Salts in Masonry :

الأملاح الذائبة يمكن أن توجد أساسا في مواد البناء التي استخدمت في الإنشاء ( طوب ورمل ومونة ) أو ربما تزداد هذه الأملاح في مواد البناء، عندما ترتفع المياه داخل الحوائط من التربة خلال الأساسات ، أو عندما تتفاعل الغازات الحمضية Acid gases مع أسطح الجدران .

وقد بينت نظرية التحلل أن التلف يمكن أن يحدث على الأقل بإحدى

طريقتين :

أ - الأملاح الذائبة ، تجذب الماء السائل Liquid water بالخاصة الأسموزية .. أو بخار الماء Water vapour بالخاصة الهيجروسكوبية .. كل هذا يؤدي في النهاية إلى زيادة المحتوى الحرج للماء The critical water content وتغرق بصفة عامة جفاف المباني .

ب - الأملاح الذائبة ، قد تتبلور عند تبخر المياه ، وتحدث تآكل للأملاح Efflorescences وتحلل للأسطح Disgregation of surfaces .



فى المدن التى تعاني من مشاكل الأملاح ، مثل : فينيسيا .. هناك نزعـة نحو إزالة كل المداميك التى تأثرت بالأملاح الذائبة ، واستبدالها بـمداميك طوب نقى Fresh Brick Courses ثم حمايتها ضد غزو أملاح جديدة بواسطة وضع مدماك ضد الرطوبة تحتها .

مثل هذه الطريقة مكلفة جدا .. ونحتاج إلى تطوير نظم رخيصة للتخلص من الأملاح .

هذا وقد تمت تجارب ناجحة فى برج لندن منذ عدة سنوات ، باستخدام كمادات الطين للتخلص من الملح ..

كما أن كمادات الورق أو الطين استخدمت أيضا فى صيانة الآثار ، لإزالة الأملاح من المواد التى تم اكتشافها فى تربة ملحية شديدة .. حيث كان يتم تغطية المادة بكمادة خالية من الأملاح ومبللة ، وتترك حتى تجف .. وفى هذه الحالة تتركز بلورات الملح فى الأسطح المعرضة للبخر من الكمادة .. لذلك عندما تجف الكمادة يجب إزالتها بعيدا بما تحتويه من أملاح..

فى المواد السميكة يتم تكرار العلاج حتى يتم التخلص من الأملاح لذلك يمكن استخدام هذه الطريقة فى استخلاص الأملاح من الحوائط.

كما يوجد طريقة أخرى للتخلص من الأملاح باستخدام الغسيل الكثيف بالماء العذب، وهناك تجارب لم تكتمل فى هذا المجال .. ويتردد أن هذه الطريقة، تؤدى إلى إضافة مياه إلى مواد البناء والأخيرة تخلق مشاكل أخرى صعبة الحل، وأيضا مكلفة .

أيضا تم تجريب طرق التحليل الكهربى Electro lysis والتحليل الديليزى Electro - dialysis - فصل المواد عن طريق غشاء لازالة

الملح من المواد الأثرية ، وذلك عندما ثبت نجاح هذه الطرق فى أغراض أخرى . إلا أن هذه الطرق قابلت صعوبات عديدة أثناء التطبيق العملى خاصة فى حالة مواد البناء .

#### ٩-٣- البياض ( طبقة الطلاء ) كطبقة حماية قربانية :

#### Plaster ( Rendering) as A Sacrificial Protective Layer

من المعروف أن الطبقات السطحية فى المباني تتعرض لمعظم عمليات التلف - مثل : الصدمات الحرارية Thermal Shock وتبلور الأملاح Salt Crystallization والصقيع Frost ومهاجمة الغازات الحمضية Acid gases .

ولو تم استخدام طبقة بياض مسامية قطبية Porous, Hydrophilic Layer فوق سطح المواد فإن معظم التأثيرات البيئية المتلفة، تتركز فى هذه الطبقة، فى حين يظل داخل البناء محميا .. أى أن طبقة البياض تحمى مواد البناء أسفلها من عوامل البيئة .. لذلك سميت مثل هذه الطبقات طبقات حماية قربانية Sacrificial حيث يمكن أن تجدد كل فترة عندما تفقد وظيفتها .. لأنها فى الغالب تتحلل ..

فى الماضى كان البناء يستخدم طبقة البياض لتكسية الجدران ، هكذا، بالممارسة والخبرة ، ونادرا ما كانت الحوائط تترك معرضة للجو خاصة إذا كانت مشيدة بالحجر .

أيضا كان يستخدم الفسيفساء أو طوب الواجهات لأغراض الزخرفة ، أو للكسوة السطحية Surface lining .

لذلك يجب حماية طبقة البياض فى المباني التاريخية، باستخدام تقنيات مناسبة ، وبقليل من التجديد كلما أمكن ، وذلك لأنها قد تنقل معلومات هامة ..

فى العصر الحديث - احسن الحظ - ظهرت طرق جديدة لنزع طبقات البياض القديم مع ترك مواد بناء المباني التاريخية معرضة للمشاهد.. ذلك التطبيق يبدو أنه غير مرغوب فيه من وجهة نظر علماء الصيانة، إلى جانب احتمال فقد أوضاع معلومات هامة تكون محفوظة فى طبقات البياض الأصلية ..

أما فى حالة نزع طبقات البياض القديم واستبدالها بأخرى جديدة، فإنه يجب أن نتذكر أن : طبقة البياض الجديدة تكون طبقة حماية قربانية ، أى مؤقتة ، خاصة لو كانت مسامية النظام Pore system أى تسمح بمرور الماء خلالها فى صورة سائل أو بخار .

على العكس من ذلك فإن استخدام بياض غير منفذ للماء فوق مواد البناء القديم يخلق وضع جديد، يجعل من الأفضل إجراء عدة تحليلات قبل تطبيق هذا البياض .

وفى الواقع فإن أى طبقة سطحية غير منفذة للماء ، تكون معرضة للتشقق فى الحال أو فى المستقبل ، بسبب الحركة الحرارية للمواد Thermal movement كذلك فإنها تعوق الإتصال بحد الماء Water barrier أيضا قد تؤدي إلى تطوير الضغوط الداخلية بسبب الصقيع Frost أو تبلور الأملاح Salt Crystallization .

عامل آخر يجب أن نتذكره .. أن الحوائط إذا ارتفع فيها المياه الأرضية أو الرطوبة Rising damp بعد معالجتها بطبقة بياض غير منفذة للماء، فإن الرطوبة قد تصل إلى أقصى معدلاتها داخل هذه الحوائط بسبب منع المياه من التبخر .

**والخلاصة :** أن طبقة البياض يمكن أن يمر من خلالها الماء الذى سينتشر فى مواد البناء ، لكن فى الغالب تتراكم المياه خلف الطبقة غير المنفذة للماء، أو التى لايمكن تبخر الماء من خلالها ..

وفيما يلى شكل يوضح خواص طبقة البياض المسامية ، وغير المسامية .. شكل رقم (٦٣).

#### ٩-٤ - الجفاف فى المباني **Drying of Masonry**:

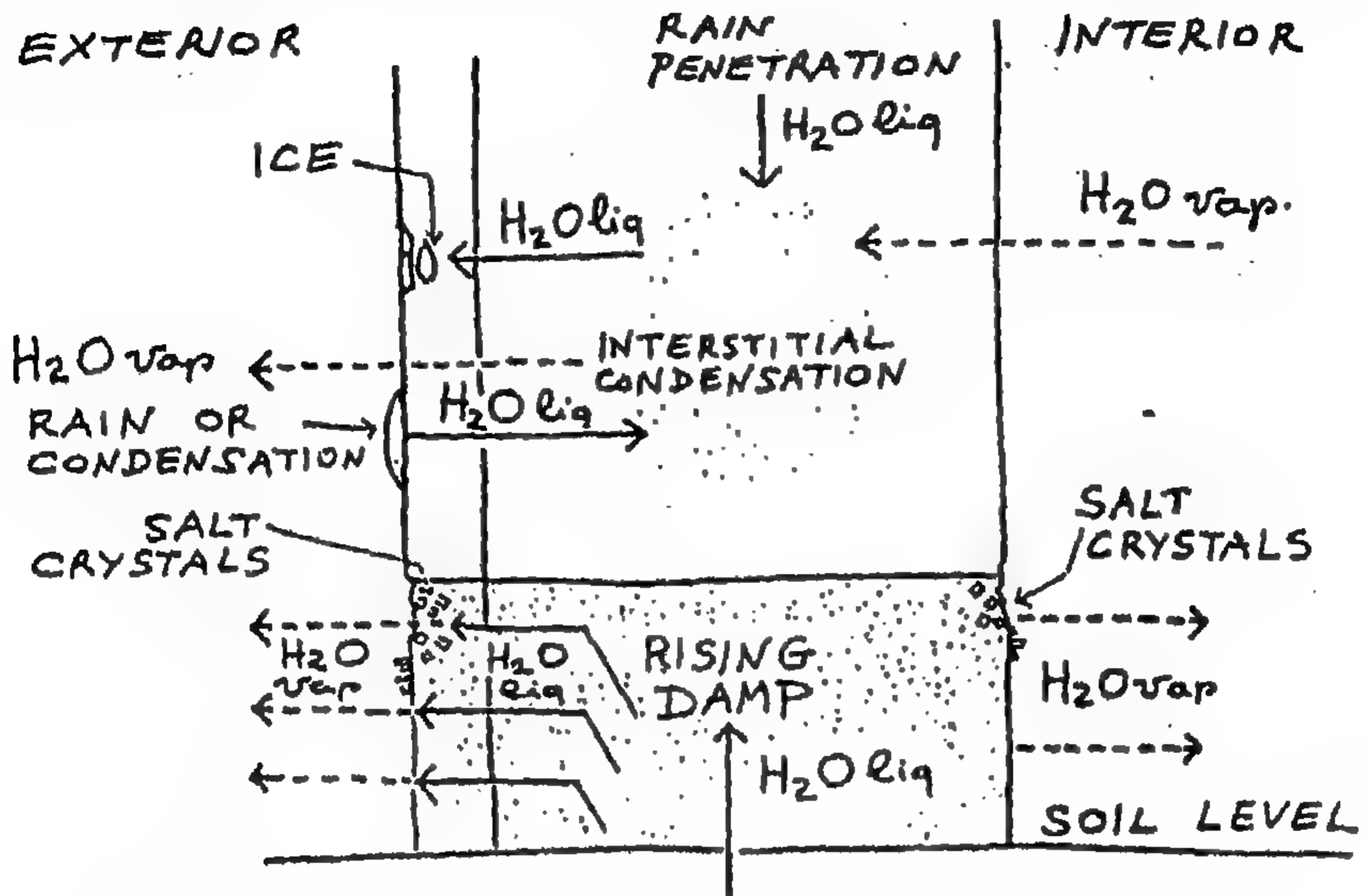
تبين النظريات أنه من الصعب إزالة الرطوبة من مواد البناء المسامية .. أيضا تزداد الصعوبة لو وجدت أملاح قابلة للذوبان فى الماء داخل مسام المواد ..

ويقترح نظريا لإنقاص الرطوبة أو التخلص منها عندما تكون الحوائط مبللة بدرجة كبيرة .. زيادة عملية التبخير، أو منع مصادر المياه عن الحائط.. أو القيام بذات العمليتين فى وقت واحد - أى التخلص من الرطوبة بعملية تبخير ، مع منع مصادر المياه التى تؤدى إلى ترطيب الحوائط.. ويوجد العديد من الطرق التى يمكن تنفيذها أو محاولة تنفيذها .

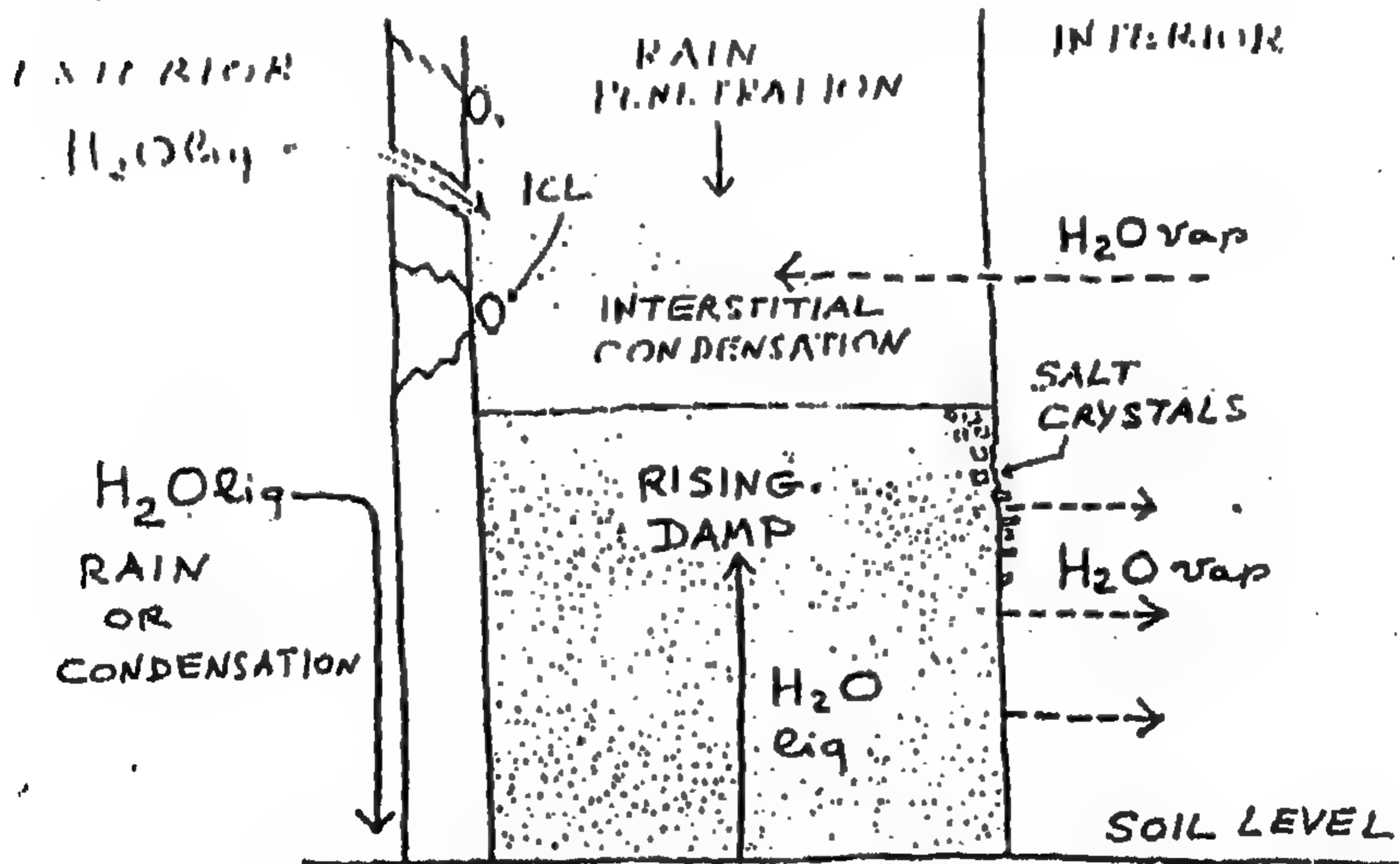
#### **التبخير Evaporation :**

ويمكن أن يتم بنظم التسخين أو التهوية Heating or Ventilation Systems .

a) POROUS SACRIFICIAL SURFACE LAYER



b) IMPERMEABLE SURFACE LAYER



شكل رقم (٦٢) يوضح

خواص طبقة البياض المسامية (a) وغير المسامية (b)



## التحكم فى المياه الزائدة :Control of Water Access

ويعتمد ذلك على التشخيص الصحيح لمصدر الرطوبة - وحالة المياه  
بعد ذلك يمكن إتخاذ التدابير التالية :

- ١- استخدام طبقات مانعة للرطوبة Damp Proof Courses
- ٢- عمل نظم للصرف الصحى Drainage systems
- ٣- مراجعة مزاريب تصريف المياه Rain Water Disposal
- ٤- تجنب عملية التكاثف Avoidance of Condensation
- ٥- إزالة الأملاح وماشابه Removal of Salts & others

فى العصر الحديث - يوجد عدة طرق يمكن اقتراحها لتجفيف المواد  
الأثرية تجفيفا تاما .. بأقل تكلفة .. إلا أنه يجب قبل تنفيذ أيا من هذه الطرق  
يجب إختبارها فى الحقل ، مع مراجعة نتائجها وتسجيلها بواسطة مراقبين غير  
منحازين .. حيث أن البعض يحاول أن يشكك فى جدوى هذه الطرق ..  
وبعض الآخر يحتفظ بالأمل فى نجاح النصائح العلمية ..

وفيما يلى نذكر أهم هذه الطرق ..

### - السيفونات الهوائية :Atmospheric syphons

السيفونات الهوائية ، وتسمى أيضا سيفونات كنانين  
Knapen syphons عبارة عن أنابيب من السيراميك تولج فى الجدران بميل  
.. لأسفل أو لأعلى .. من النهاية حتى الفوهة .. انظر الشكل رقم (٦٤).

والأساس النظرى لهذه السيفونات هو : توقع تولد دوره هوائية  
داخلها، ينتج عنها زيادة بخر المياه من الحوائط ..



ومع ذلك فإن تقارير الملاحظين غير المنحازين في فرنسا وبريطانيا بينت أن تأثير السيفونيات على المحتوى المائي للحوائط غالبا غير ذي فائدة .. ويصبح السيفون غير فعال لو تم قلبه ، حيث يتم قلب السيفون في التطبيق العملي لتجنب امتلائه بماء المطر . أنظر الشكل رقم (٦٤)، (a).

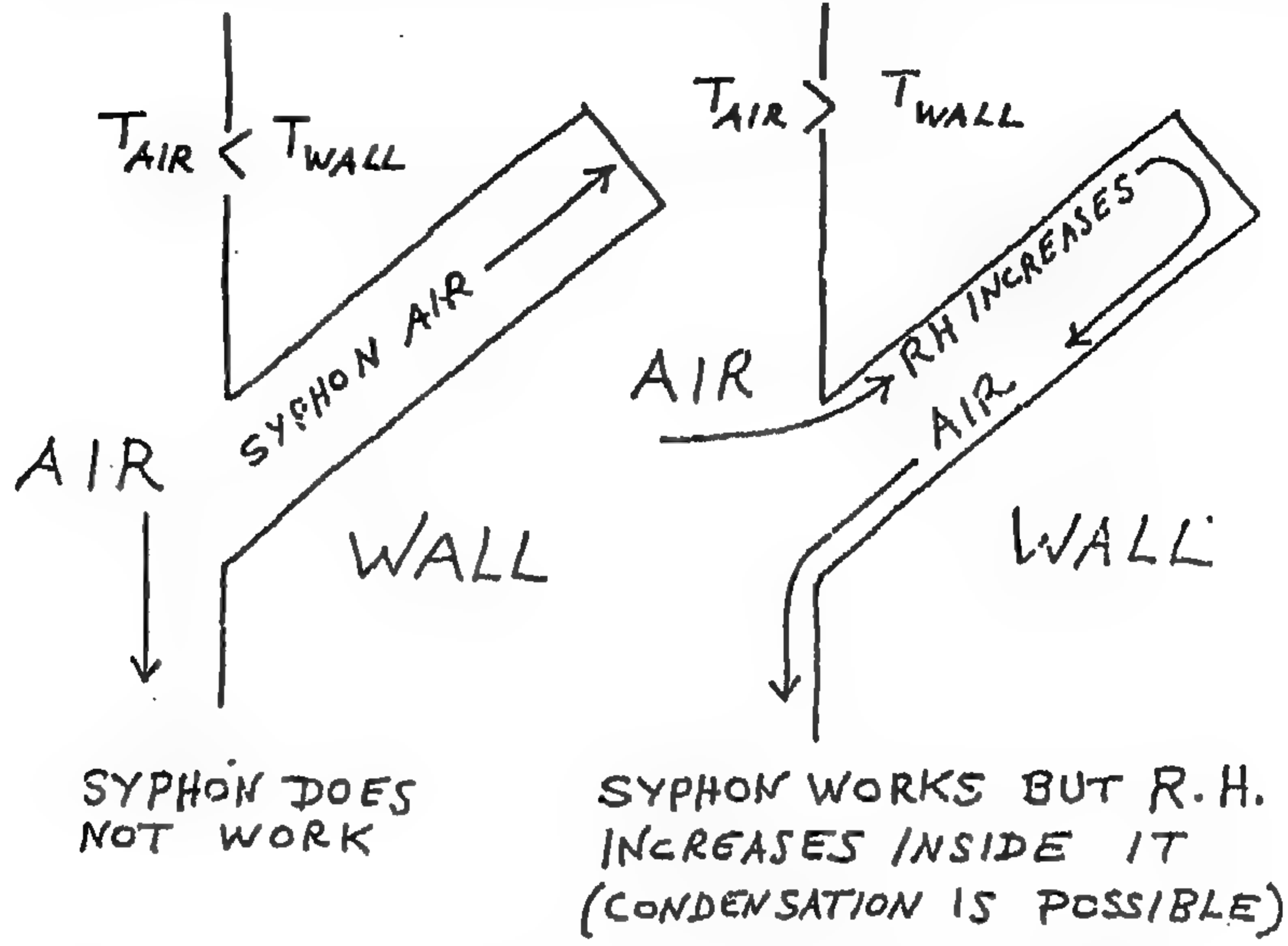
والحقيقة أنه عندما يكون الحائط أدفا من الهواء الجوى ، فإن الهواء البارد لا يستطيع دخول السيفون من أسفل ، لذلك فإنه لا يعمل .. والعكس عندما يكون الهواء الجوى أسخن من الحائط ، فإن حركة الهواء داخل السيفون تكون فعالة ، لأن الهواء البارد يتدفق خارجا من الحائط .. ويزداد تدفق الهواء من الحائط عندما تزداد سخونة الهواء الجوى فى الأنبوبة ..

ولسوء الحظ فإنه فى مثل هذه الحالة تزداد الرطوبة النسبية فى الهواء بسرعة كبيرة عندما يدخل السيفون ، وتقلل من درجة حرارة الحائط - وقد يحدث عمليات تكثف داخل الجدران ..

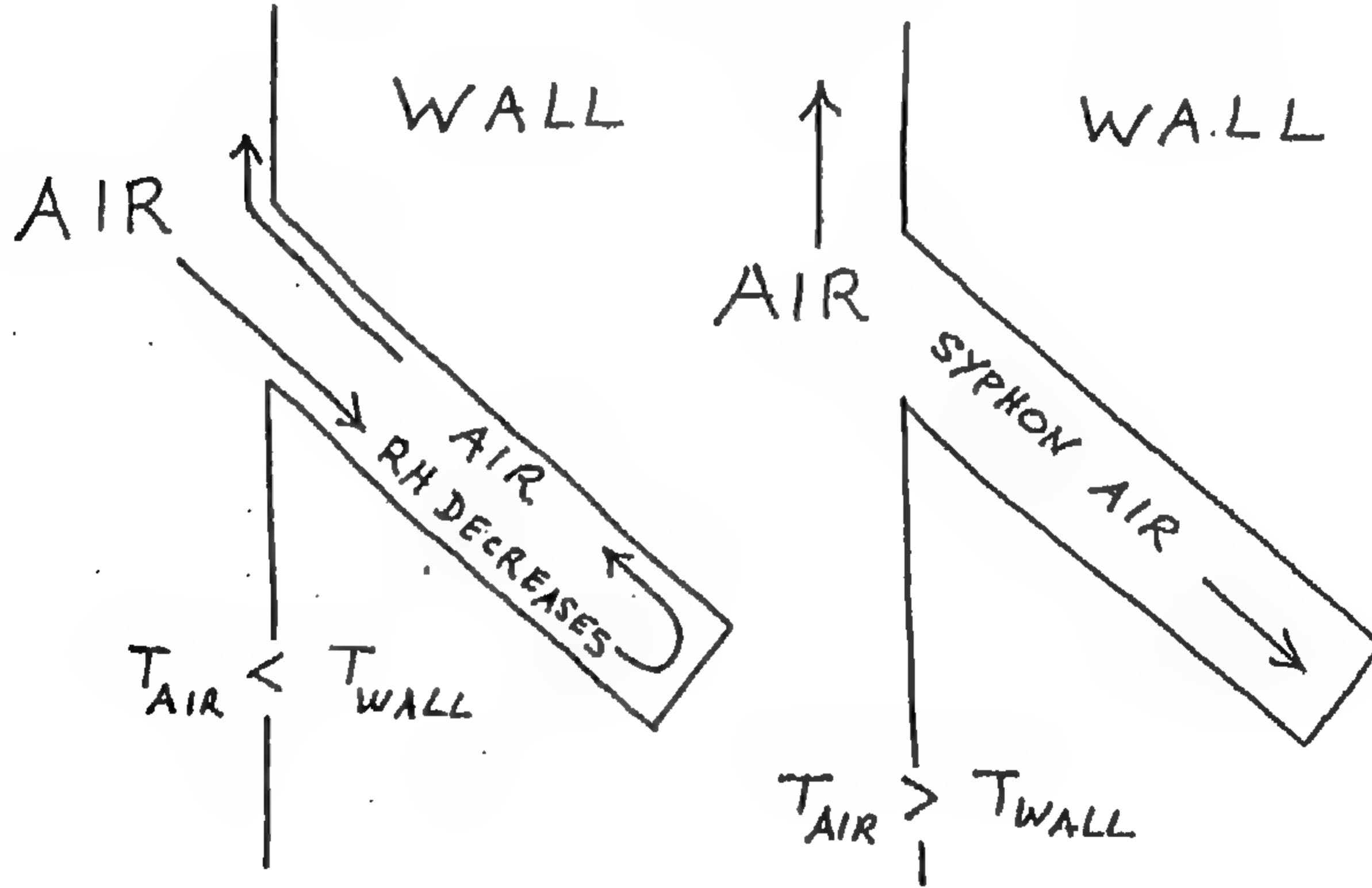
هذا بالنسبة للسيفون المتجه لأسفل ، أما السيفون المتجه لأعلى فمن الممكن أن يعمل بصورة أجود من السيفون المتجه لأسفل ، لأن دورة الهواء ستحدث عندما يكون الحائط دافئا، ويلاحظ ذلك فى حجرات المقابر فى Tarquinia وفى مقابر طيبة Thebes.

وعلى كل فإنه مطلوب شىء من التفكير المتأنى لحساب سطح التبخير ، الذى سوف يؤدى إلى أكبر نتيجة ممكنة .. إلا أن هذا إفتراض شخصى للمؤلف ، إذ من الممكن أن يكون مثل هذا السطح أوسع من ذلك الذى يمكن أن يقدم بواسطة السيفون الموجود..

a) THE DOWNWARDS SYPHON IS NOT EFFICIENT



b) THE UPWARDS SYPHON MIGHT WORK (BUT HOW LARGE SHOULD IT BE?)



شكل رقم (٦٤) يوضح

السيفونات الهوائية

أ- سيفون متجه لأسفل .

ب - سيفون متجه لأعلى .

#### ٩-٤-٢ - الأسموزية الكهربائية الخاملة ( السالبة )

##### Passive Electro - Osmosis

الأسموزية الكهربائية والخاملة مبدأ أساسى لانستطيع شرح نظريته فى هذا المكان .. إلا أنه من المفترض أن الماء يصعد فى مواد البناء عن طريق اختلاف الجهد الكهربى الموجود بين الأرض والمباني .. فلو تم توصيل الأرض بالحوائط فإننا ستمكن ارتفاع الماء فى الحوائط، وربما يعود الماء إلى التربة أو قد يتبخر نظرا لإلغاء فرق الجهد الموجود بين الأرض والبناء ...

إلى جانب هذه الحقيقة .. فإن هناك شك فى وجود اختلاف فى الجهد على الإطلاق .. وذلك طبقا لأحدث النظريات التى ترجح إمتصاص الماء إلى وجود الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء - حيث يحدث رباط هيدروجينى لجزيئات الماء مع الأسطح القطبية .. وهذا لا يحتاج إلى أى مضاعفة للجهد الكهربى .. حيث أن توصيل الحوائط بالأرض Earthing of a wall لن يؤثر على ارتفاع المياه بالخاصة الشعرية على نطاق واسع..

#### ٩-٤-٣ - الأسموزية الكهربائية النشطة ( الموجبة ):

##### Active Electro- Osmosis

الأسموزية الكهربائية الموجبة حقيقة معروفة جيدا ، إذ أن الماء يستطيع أن يندفع تجاه القطب السالب بواسطة مجال كهربى فى الأجسام المسامية القطبية .

من ناحية أخرى فإن إزالة المياه يتطلب طاقة أعلى من طاقة إزاحتها أو استبدالها بجزيئات مياه جديدة .

والطاقة المطلوبة للجفاف من الممكن أن يكون مقدارها أكبر من ١ ك وات ساعة لكل كجم ماء - إذ أننا في الواقع لا يمكننا ملاحظة كيف أن نظم التيار المنخفض يمكنها تجفيف كتلة كبيرة من الماء في وقت معقول .

وقد ثبت أن قطاع من الحائط سمكه ٦ سم وطوله ٤م يحتاج إلى ٧٠٠ ك وات ساعة ليصل محتواه المائي إلى ٣٪.

على الجانب الآخر فإن نظم الجهد الكهربى العالى ، صعب تشغيلها ، وصعب صيانتها ...

إقتراح آخر صعب التنفيذ ، يعتمد نظريا على حقيقة أن الجفاف يجعل المحتوى المائى أقل من المحتوى الحرج للمياه ( المسوى الثالث ) فى المواد المسامية .. والجفاف بواسطة التيار الكهربى لا يمكنه مبدئيا أن يتقدم لأكثر من المستوى الثالث ..

كما يوجد معوقات كافية من المياه التى تملأ المسام تستطيع أن توقف مرور التيار الكهربى بين الأقطاب Poles.

أيضا فإن وجود الأملاح الذائبة يعوق العلاج الكهربى ، وبصفة خاصة فى الطرق الموجبة لأن الأيونات ستزيد من توصيلية المياه. أيضا تأثير الإلكترونات فى الماء يصبح إيجابيا لكنه سيكون له أهمية فقط لو مد بكمية كبيرة من الطاقة .

على الجانب الآخر فإن ظاهرة الاستقطاب قد تحدث على الأقطاب الكهربائية، فتمنع حركة المياه بعد فترة من الوقت، ومن المثير للدهشة أن إنتقال الكهرباء فى المواد يتوقف مؤقتا ، لأن الكهرباء تحل محل جزيئات الماء، وتشكل غطاء داخلى مانع Internal hydrophobic coating.

فى هذا الميدان يجب أن نستغل مواهبنا لخلق حواجز مائية  
Water Barriers داخل الأجسام المسامية .. على سبيل المثال ، عن طريق  
العزل المؤقت للجزيئات الحاملة للشحنات الموجبة ، التى تستطيع أن تدخل  
المسام الصغيرة ..

رأى آخر يمكن بحثه ، هو ترسيب المواد فى صورة هلامية كنتيجة  
لهجرة التيار الكهربى داخل السيليكات أو الألومينات الذائبة .

مثل هذه النتيجة التى نتمناها ستؤدى إلى سد الثقوب وتكوين نوع من  
الطبقات العازلة للرطوبة Damp proof course.

٩-٥ - تطبيقات غير ملائمة فى صيانة المباني :

### Improper masonry conservation practices

فى ضوء النظرية العامة للتلف التى أو جزئياها من قبل فإن العديد من  
التقنيات المطبقة فى الوقت الحاضر لصيانة المباني القديمة ، تبدو غير  
مرغوب فيها ، أو غير ملائمة ..

١ - الحالة الأولى : التنظيف بالأحماض أو القلويات المركزة :

تنظيف الطوب أو الحجر فى المباني القديمة باستخدام الأحماض أو  
القلويات المركزة عمليات خطيرة جدا ...

فالأحماض ، قد تتلف بكل وضوح مون الجير أو الحجر الجيرى ، لأنها  
تهاجم بسرعة كربونات الكالسيوم المكون الأساسى لكل من الحجر الجيرى  
ومون الجير .. إذ أن أقل تفاعل كيميائى يسبب خطر كامن ، لأن النواتج  
الثانوية لكل التفاعلات تكون عبارة عن أملاح ذائبة .. وهذه الأملاح إن لم  
يتم التخلص منها فورا ، فإنها تتبلور بعد ذلك فى مسام المواد ..



أما القلويات ، مثل الصودا الكاوية ، تعطى كربونات كنواتج تفاعلات .. مثل : كربونات الصوديوم ، التي من الممكن أن تتبلور في شكل بلورات متميئة Hydrated Crystals ينتج عنها إجهادات داخلية متلفة .

## ٢- الحالة الثانية : التنظيف الميكانيكي :

أيضا التنظيف الميكانيكي من المحتمل أن يسبب عمليات تحلل من خلال تسببه في تكوين شروخ سطحية Surface cracks.

وقد أثبتت النظريات أن حالة الأسطح - خاصة إذا كانت جيدة- تصبح عامل أساسي يقرر مقاومة مواد البناء لهجوم العوامل البيئية ..

لذلك فإننا يجب أن نتجنب ، بقدر الإمكان ، إنشاء عمليات التنظيف ، إحداث عيوب جديدة في الأسطح المعالجة .. إذ أن كثرة العيوب غالبا ماتبقى بعد استخدام المقويات أو الطلاءات الواقية Protective coating التي سوف نستخدمها دائما .

## ٣- الحالة الثالثة : ماء خلط الأسمنت :

الماء الذي يستخدم في خلط الأسمنت المستخدم في المون أو في الخرسانة ، يكون على اتصال مباشر بتفاعلات شك الأسمنت وغيره من المواد التي تكون غنية بالجير المائي Hydrated lime والصودا الكاوية Caustic soda وكذلك محاليل الأملاح الذائبة مثل :

Sodium silicate

- سيليكات الصوديوم

Sodium carbonate

- كربونات الصوديوم

Sodium Sulphate

- كبريتات الصوديوم



هذا المحلول المائى الذى يحتوى على كل هذه الأملاح يسبب تلفيات خطيرة لو سمح له بالتسرب داخل مسام مواد المباني القديمة القريبة من موقع الخلط .

كما أن استخدام مون الأسمنت فى إصلاح وترميم المباني القديمة تؤدي إلى ظهور إجهادات بسبب تبلور وتزهر الأملاح  
Efflorescence & Crystallization Stress .

#### ٤- الحالة الرابعة : استخدام المون القوية :

كما أن استخدام المون القوية مثل : أسمنت الخرسانة Cement Concrete أو المون الصناعية المخلقة Synthetic mortar مثل : مون رانتج الإيبوكس فى ترميم أو إعادة بناء المباني القديمة تحدث ضررا بالغاً لأسباب ميكانيكية .

أيضا ثبت أن هذه المواد تظهر قدرة فائقة على لصق مواد البناء فى المباني القديمة ، لكن الملاحظ أن معاملات تمددها الحرارى ضعف معاملات التمدد الحرارى لمعظم مواد البناء القديم... وقد تصل إلى أكثر من الضعف فى حالة الراتنجات الصناعية.

لذلك فإن الحركات الحرارية تؤدي إلى إختلافات وإجهادات بسبب ضعف المواد القديمة عن الجديدة .. كما أن قوة المواد الجديدة تتسبب فى فقد أجزاء كثيرة من جوانب أو أحرف المواد القديمة الملتصقة بها .

أيضا تظهر الشروخ الدقيقة المرئية وغير المرئية على جوانب قطاعات المواد القديمة التى تلتصق بالمواد الجديدة .. وهذا مايساعد على زيادة عمليات التلف فى المستقبل .

وبصفة عامة يجب أن يكون هناك قاعدة أساسية .. هي : يجب أن تتساوى قوة المواد المستخدمة فى الترميم مع قوة المواد الأصلية ، أو أن تكون أضعف منها ..

لأن النظريات أثبتت ، أنه إذا كانت المواد الجديدة أقوى من المواد القديمة فإنها تعجل من تلف الأجزاء القديمة التى تتصل بالأجزاء الجديدة.. وهذا مايتعارض مع تقنيات صيانة المواد الأثرية ..

٩-٦- العلاج غير القطبى للجوامد القطبية :

### Hydrophobic treatment of Hydrophilic solids

لو كل المسام فى الجوامد القطبية - المحبة للماء - تم تغطيتها عن طريق التشبييع العميق Deep impregnation باستخدام مواد غير قطبية - مانعة للماء - فإن هذه المواد تصبح عمليا مانعة للماء أيضا ، حتى لو المسام بقيت مفتوحة ..

ومن الممكن إنجاز عملية التشبييع بالمواد المناسبة ، بواسطة تقنيات مناسبة ، بكفاءة عالية ، إذا كانت المسام جافة .. أما إذا كانت المسام مملوءة بالماء .. هنا تظهر مشكلة يصعب حلها فى بعض الحالات .

هذا ويلاحظ أن المعوقات أو المستحلبات المائية للمواد غير القطبية ، تكون محدودة التخلل أو التشرب داخل المسام الصغيرة للمواد ، وذلك لكبر حجم الدقائق العالقة ... ومن أمثلة ذلك :

السيليكونات الذائبة فى الماء - الصوديوم المشتق من السيليكون - تستخدم لخلق حواجز مانعة للماء ، إذا تم حقنها داخل مواد البناء وفى هذه الحالة فإن مصدر المشاكل المحتملة هو انتشار المحلول فى الماء الذى يملأ

المسام .. من ناحية أخرى فإن انتشار المحلول داخل مواد البناء يكون صعبا بسبب كثرة المسام الصغيرة .

الهيدروكربونات الكلوره .. وهى مذيبات قطبية ، تتجذب نحو الأسطح القطبية ، لكنها غير قابلة للإمتزاج مع الماء ، لأنها لاتستطيع تكوين روابط هيدروجينية معه .. تستطيع أن تزيح الماء من الأسطح المسامية ، وتدفع جزيئات الماء بقوة نحو تكوين مناطق ذات شد سطحي عال ..

مثل هذه التقنيات تتجح عند تطبيق الطلاءات العضوية Organic coatings فوق الأسطح المبللة ، لكن لا يوجد دليل على أن هذه التقنيات تتجح فى التشبيع العميق ، أى فى التخلل داخل مواد البناء ..

علاج الأسطح غير القطبية : بصفة عام يكون من السهل علاج الأسطح غير القطبية ولكى يكون العلاج ناجحا ، على الأقل ، يجب أن نوضح نقطتين هامتين فى هذا الموضوع .

الأولى: قدم الطبقة السطحية فى المواد غير القطبية .

الثانية: احتمال تجمع المياه وتراكم الأملاح خلف الطبقة السطحية لهذه المواد محدثة تلف بالضغط الداخلية .

**قدم الطبقة السطحية Ageing of surface films:**

معظم جزيئات المواد العضوية تحتوى على الهيدروجين والكربون وهذا هو سبب أكسدة هذه المواد عندما تتعرض للهواء .. هذه العملية تحدث طبيعيا عن طريق الطاقة التى تحصل عليها هذه المواد من الضوء العادى أو الأشعة فوق البنفسجية ، وبالتالي تصبح هذه الأسطح نشطة جدا للتفاعل ، وإضافة الأكسجين الذى يخلق مجموعات قطبية محبة للماء

Polar hydrophilic groups.. مثل  $O^- - H^+$  ,  $C^+ - O^-$

والنتيجة النهائية لعملية الأكسدة هذه هي تكسر أو تشابك جزيئات هذه المواد، مما يقلل قوتها الميكانيكية وتفقد تأثير المواد المانعة للماء .. كما أن الأكسدة كثيرا ماتغير لون هذه المواد ، وأخيرا فإن حالة الأكسدة تجعل المواد في صورة محاليل مائية .

ومن المهم أن نلاحظ أن مقاومة المواد للأكسدة يعتمد جزئيا على خلو هذه المواد من الشوائب ، ولو أن كمية صغيرة من الشوائب تم أكسدتها ، فإنها ربما تبدأ سلسلة طويلة من التفاعلات الضارة التي تصل إلى الجزيئات المقاومة للأكسدة وتسبب تلفها هي الأخرى.

من أجل ذلك يكون من الضروري اختبار متوسط عمر كل مادة تجارية على حدها - إذ أنه من المستحيل أن نثق في البيانات العامة للمواد الكيميائية التي تنتجها الشركات كان نقول على سبيل المثال :

والسيليكونات مواد سيئة Silicones are bad والأكلديلات مواد مقاومة Acrylics are resistant.

تجمع الماء خلف الغطاء السطحي :

### Water accumulation behind Films

تتسرب المياه إلى سطح مواد البناء بطرق عديدة ، سواء كانت بطيئة أو سريعة .. وأهم هذه الطرق .. الخاصة الشعيرية أو التسرب من ماء المطر المتخلل من خلال اللحامات أو العيوب الموجودة في طبقة الطلاء الخارجى ، أو عيوب نظام الصرف الصحى أو نظام صرف مياه المطر .. وتكون النتيجة تجمع المياه خلف الغطاء السطحي لهذه المواد خاصة إذا كانت غير منفذة .

أيضا ظاهرة التكثف خلال الشقوق أو الشروخ تؤدي إلى نفس النتيجة .. تراكم المياه خلف الطبقة الخارجية .

وإذا كانت الطبقة الخارجية للمباني غير منفذة للبخر جزئيا أو كليا ، فإن الماء المتجمع خلفها سوف يتجمد مسببا ضغوط داخلية .

ولو أن عملية البخر حدثت ببطء فإن الأملاح الذائبة تستطيع أن تتبلور خلف الطبقة السطحية مسببة أيضا ضغوط داخلية .

لذلك فإن معاملة أسطح المواد المسامية بطبقة واقية أو طبقة طلاء سطحي Surface coating يلزمه دراسة مبدئية لدورة المياه في صورتها السائلة والغازية في البناء، وذلك لتجنب الأخطار التي تسببها حركة المياه التي سبق ذكرها .

\*\*\*\*\*

الفصل العاشر  
اللدائن الصناعية  
Synthetic Plastics





من الملائم أن نقسم اللدائن الصناعية إلى مجموعتين رئيسيتين :

- مجموعة الراتنجات التي تلين بالحرارة Thermo plastic resins .

- مجموعة الراتنجات التي تتصلد بالحرارة Thermosetting resins

١٠-١ - الراتنجات التي تلين بالحرارة ( ثرموبلاستيك ) :

الراتنجات التي تلين بالحرارة .. عبارة عن جوامد جزيئية

Molecular solids أى أنها مواد صلبة ، تتكون من : جزيئات هذه

الجزيئات طويلة جدا ، ويبدأ تصنيعها من جزيء صغير يسمى مونمر

Monomer الذى يمكن أن يضاف اليه عدد كبير من الجزيئات عن طريق

البلمرة Polymerization ليشكل سلسلة طويلة من الجزيئات تسمى :

Polymer.

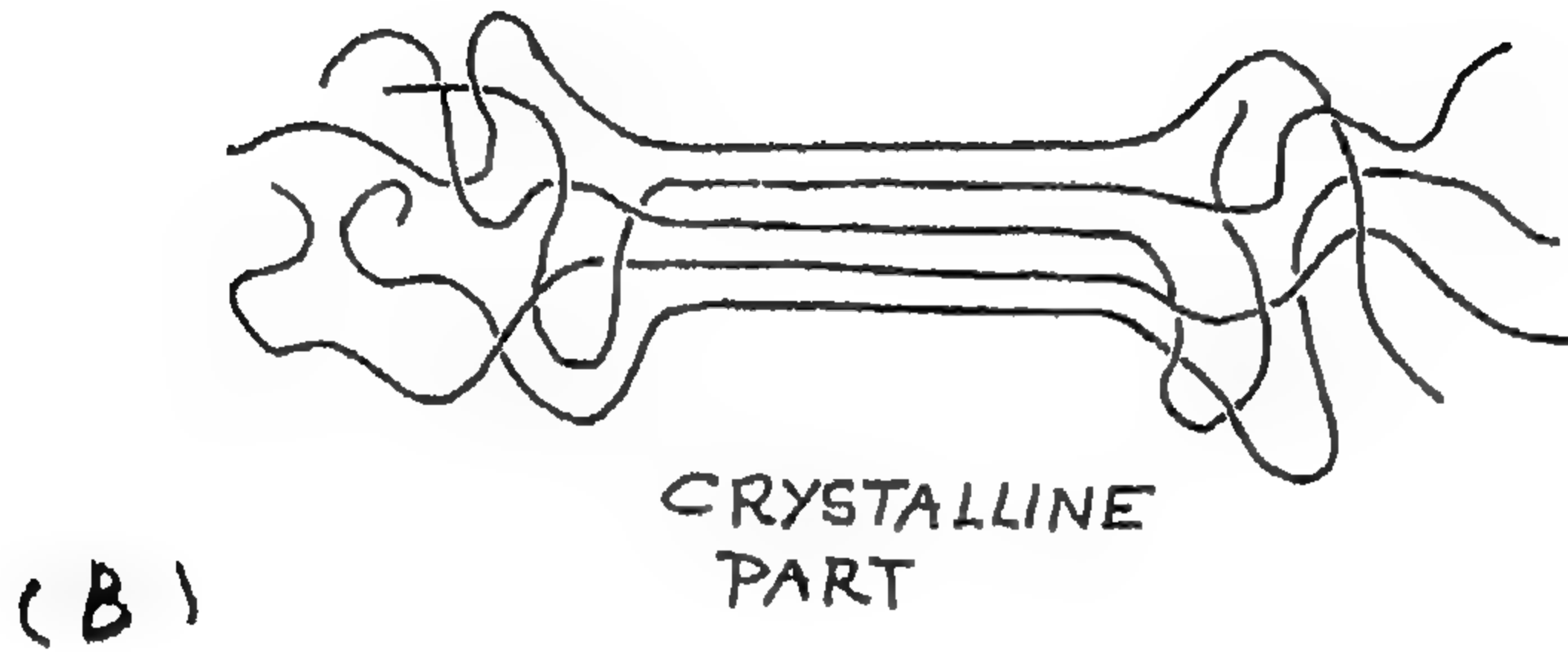
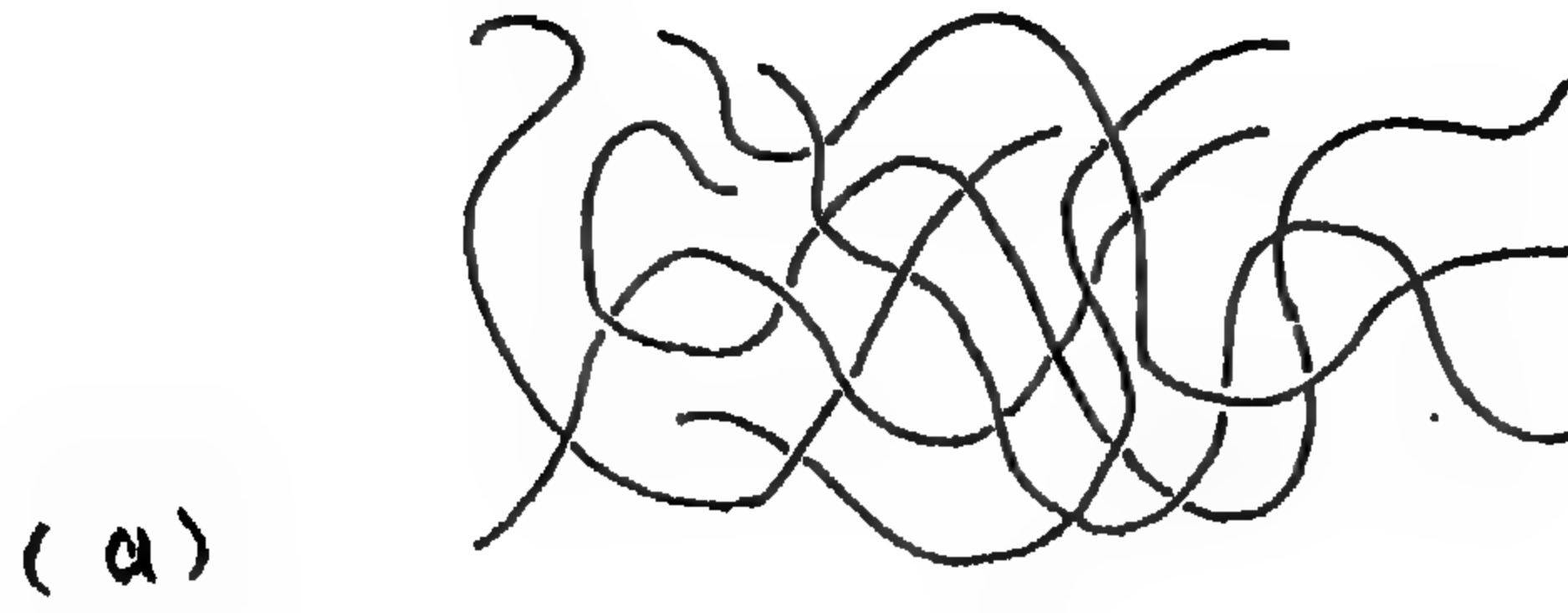
Monomer      Polymerization      Polymer

هذه السلاسل الطويلة تكون مرنة ، وربما تميل إلى الفوضى الكاملة

أى تكون متشابكة وغير منتظمة فى الأجزاء غير المتبلورة . انظر الشكل

رقم (٦٥) أو تترتب جزئيا فى شكل متواز In parallel fashion وذلك فى

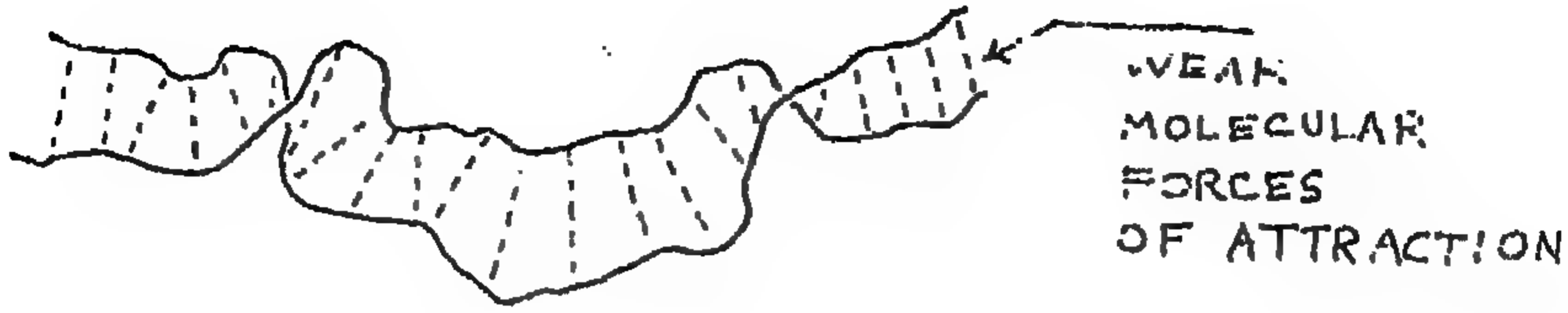
الأجزاء المتبلورة .. انظر الشكل رقم (٦٥).



شكل رقم (٦٥) يوضح  
مظهر سلاسل البولمر  
(a) سلاسل متشابكة .  
(B) سلاسل منتظمة .

والجزء المتبلور يكون صلبا ، لكنه في نفس الوقت يكون صلبا ، وعندما تكون السلاسل الجزيئية مرنة فإنها تسمح للأجزاء ذات البناء غير البلوري Amorphous بامتصاص الصدمات الميكانيكية Mechanical shocks .

ويلاحظ أن السلاسل الطويلة في البوليمرات تتصل ببعضها بواسطة قوى جزيئية ضعيفة Weak molecular forces وهذه تسبب تشوهات في المادة في درجة الحرارة المعتدلة ، وتحت الضغط المعتدل .. شكل رقم



شكل رقم (٦٦) يوضح

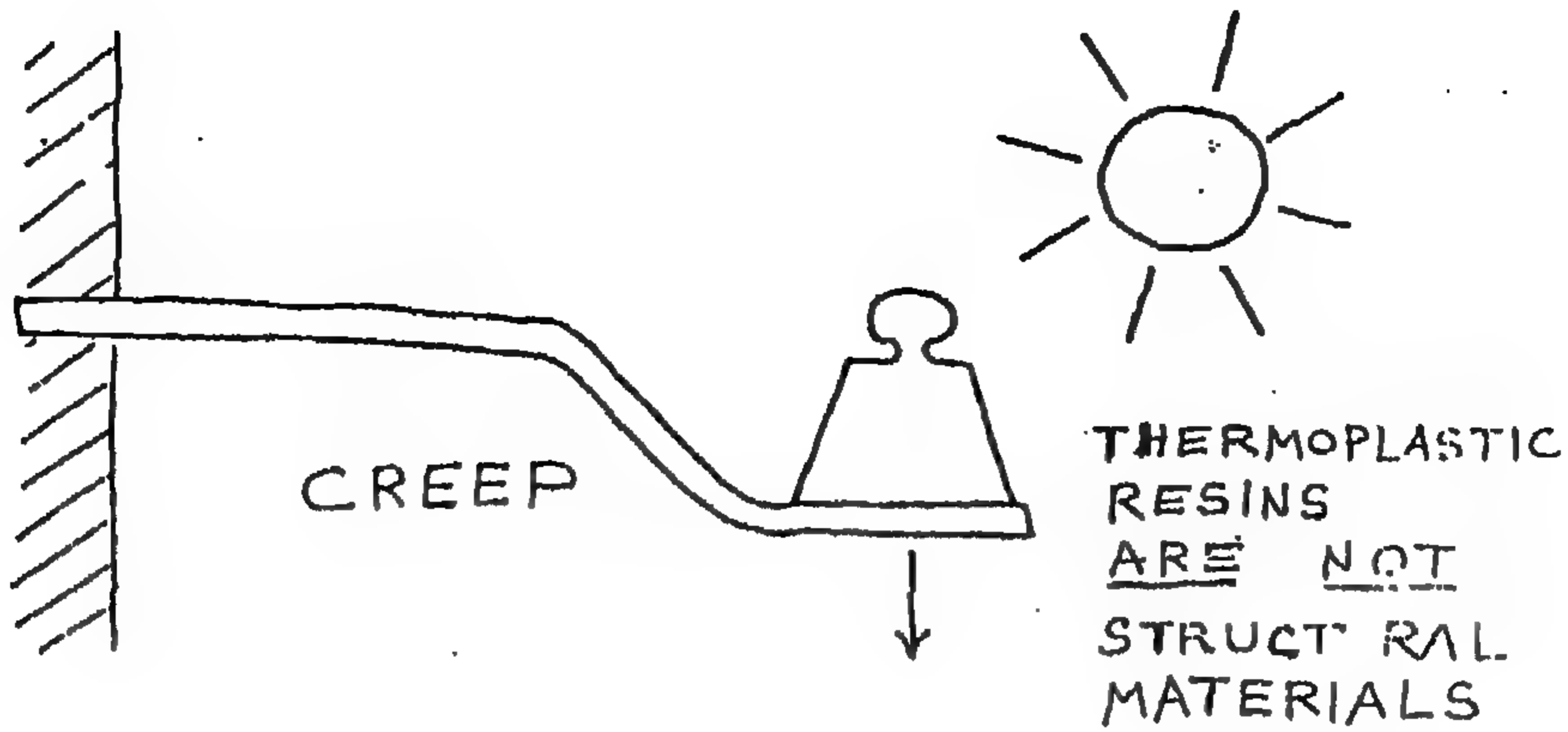
قوى اتصال الجزيئات ببعضها

والراتنجات التي تلين بالحرارة تصبح صلبة ، مثل : الزجاج تحت درجة حرارة معينة - هي درجة حرارة الزجاج Glass temperature وذلك لأن السلاسل لا تكون مرنة بدرجة كافية .. وهذه الراتنجات تصبح زجاجية أو شبيهة بالزجاج في درجة حرارة الغرفة - وتستخدم كمواد بديلة للزجاج .. مثل : Methacrylates & Perspex .

أما الراتنجات المرنة مثل Polyethylene & Nylon ذات درجات الحرارة الأقل من درجة حرارة الزجاج، فإنها تستخدم كمواد صاعدة جيدة أى مضادة للصدمات High Resilience وتستخدم فى الألياف Fibres والأفلام Films.

هذا وتصنع اللواصق من كلا النوعين من الراتنجات التي تلين بالحرارة ... مثل : Polyvinyl acetate & Acrylic .

وبلاحظ أن راتنجات ثرموبلاستيك ليست مواد بناء Not Structural Materials وذلك لأنها لا تستطيع أن تتحمل أحمالا ثقيلة لفترات طويلة .. انظر الشكل رقم (٦٧).

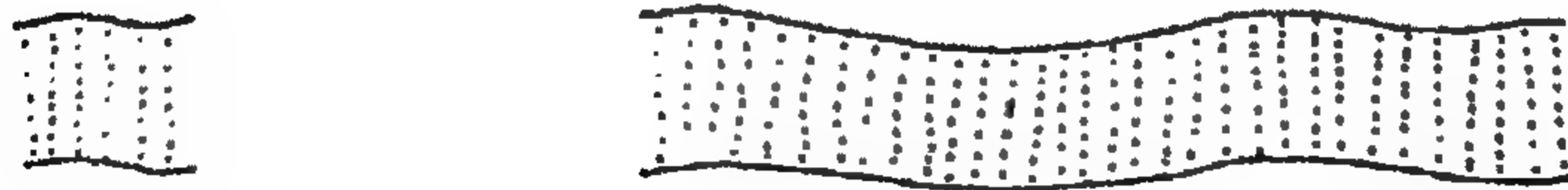


شكل رقم (٦٧) يوضح

ضعف راتنجات ثرموبلاستيك كمادة بناء

وذلك يعتمد على ضعف القوى التي تربط الجزيئات ببعضها، والتي تنهار ببطء تحت تأثير أقل قوة مسببة تشوهات، هذه التشوهات تزداد باستمرار مرور الوقت، وربما تؤدي في النهاية إلى الانهيار الكامل Complete failure أو يتغير أبعادها تغيراً بطيئاً نتيجة للإجهادات المستمرة، أو نتيجة التعرض لارتفاع درجة الحرارة.

ويلاحظ أن الجزيئات ذات السلاسل الطويلة تظهر سلوك ميكانيكي أفضل من الجزيئات ذات السلاسل القصيرة، بمعنى أن خواص الصلابة والقوة Hardness & Strength تزداد في حالة طول السلاسل الجزيئية في المادة، لأن قوى التجاذب بين كل جزئين تساوي نفس قوى التجاذب بين كل ذرتيهما.

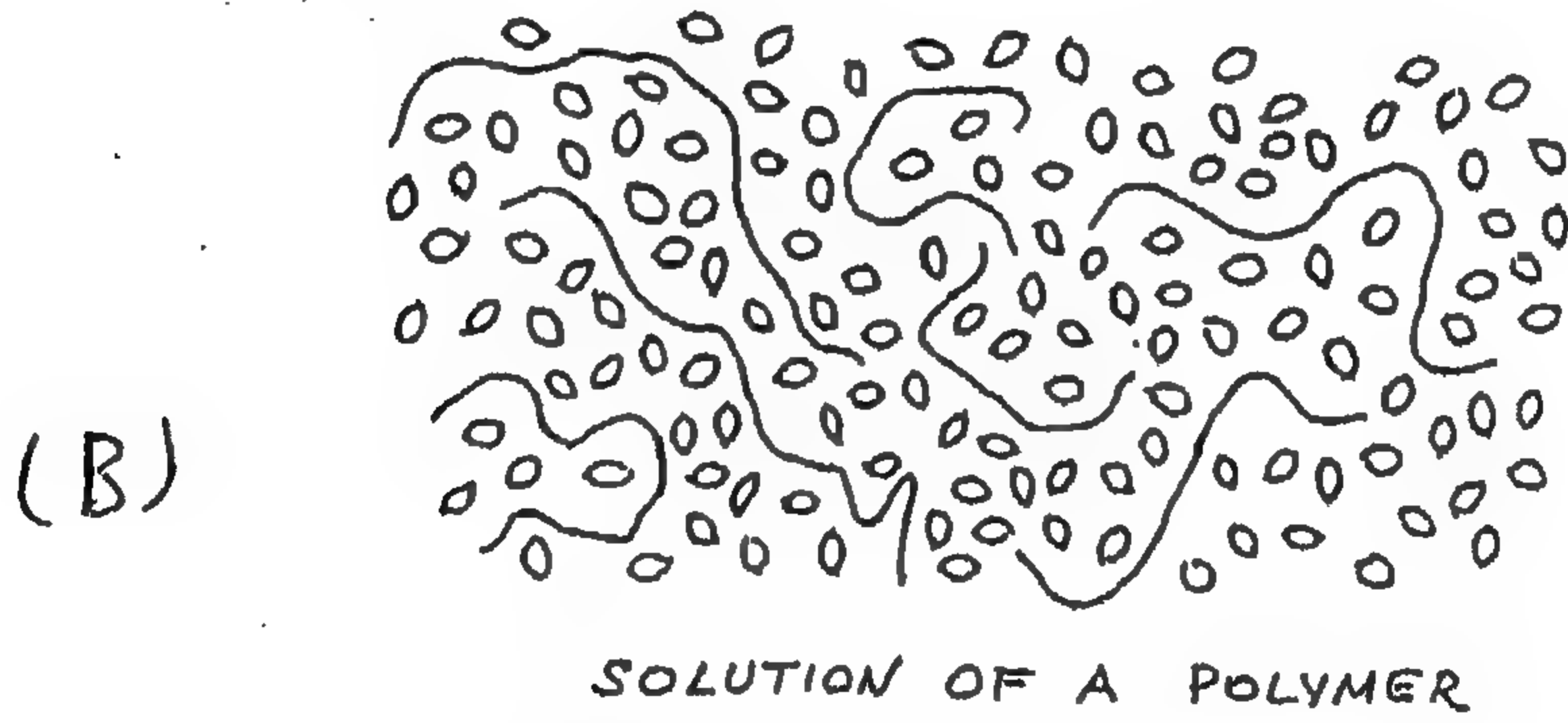
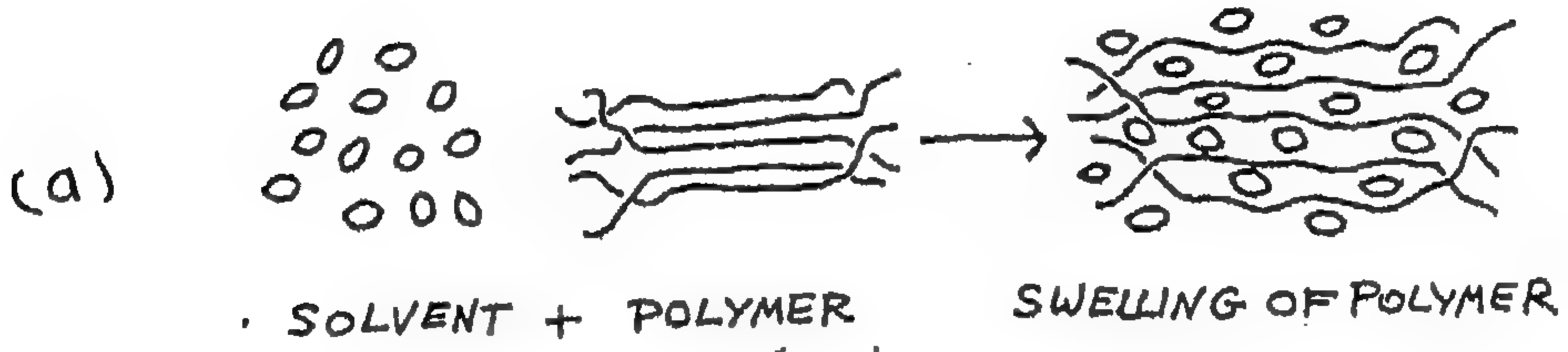


شكل رقم (٦٨) يوضح

زيادة قوى التجاذب بين الجزيئات بزيادة طولها

## ذوبان راتنجات ثرموبلاستيك :

الجزئيات الطويلة في راتنجات ثرموبلاستيك لا تذوب بسهولة في المذيبات ، وذلك لأن جزئيات المذيب تتأخر في التحلل بين هذه الجزئيات ، لذلك يلاحظ وجود مرحلة وسط *An Intermediate Stage* قبل مرحلة الذوبان .. في هذه المرحلة تنتفخ المادة *Swells* بعد تشبعها بالمذيب وتصبح طرية ، والتحلل الكامل يحدث عندما تتفصل كل الجزئيات عن بعضها فصلا تاما مكونة محاليل . انظر الشكل رقم (٦٩).



شكل رقم (٦٩) يوضح

ذوبان راتنجات ثرموبلاستيك

(a) مرحلة الانتفاش .

(B) مرحلة الذوبان .



ويلاحظ أن محاليل البوليمرات تكون لزجة Viscous ويرجع السبب في ذلك إلى أن الجزيئات الطويلة تتجاذب مع بعضها وتمنع سيولة المادة .. كما أن بعض البوليمرات ذات الجزيئات الطويلة جدا مثل : النايلون والبولي ايثيلين من الممكن أن تكون مواد غير قابلة للذوبان .. إلا أنها قد تكون محاليل عالية اللزوجة .

البوليمرات التي تضع من الجزيئات الصغيرة تتحلل بسهولة ومحاليلها تكون أقل لزوجة من محاليل البوليمرات ذات الجزيئات الكبيرة ، إلا أن قواها الميكانيكية في الحالة الصلبة تكون أقل ... لذلك فإنها تكون مناسبة أكثر لعمليات التخلل في المواد المسامية من خلال عملية التشبيع Impregnation .

- استخدام راتنجات ترموبلاستيك في أعمال الترميم ك

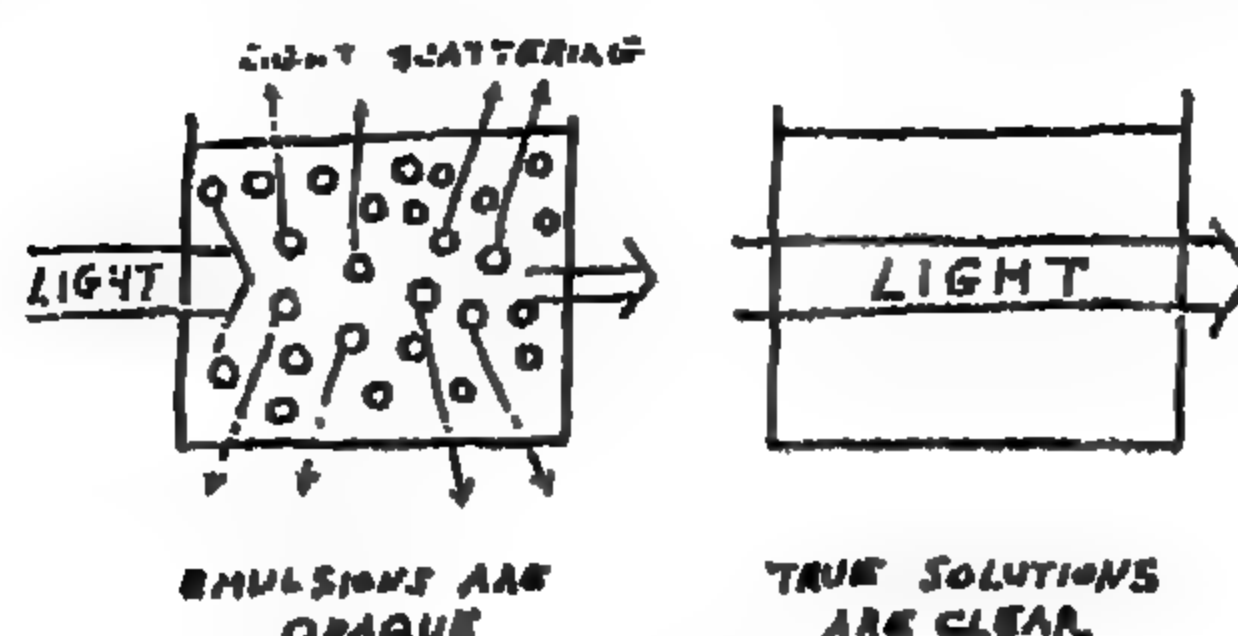
في أعمال ترميم المباني فإن الراتنجات التي تلين بالحرارة من نوع الاكريلات Acrylics والبولي فينيل أسيتات Poly Vinyl Acetate تكون أكثر فائدة ، وذلك لأنها من الممكن أن تذوب في المذيبات العضوية ، ومحاليلها يمكن أن تستخدم كمواد لصق للمواد ذات الأوزان الخفيفة ، أو تكون غطاءات ( طلاءات ) واقية Protective coatings على الأحجار والجبس والصور الجدارية .

ومن حسن الحظ أنه يمكن استخدامها أيضا في تقوية الخشب والمون والأحجار بطريقة التشبيع ..

- مستحلبات راتنجات ترموبلاستيك :

الأكريلات والبولي فينيل أسيتات ، راتنجات مناسبة لتكوين مستحلبات مع الماء ، ويسهل التعرف عليها من خلال محاليلها الحقيقية ، لأنها تكون

معتمة ، وببضاء اللون مثل اللبن ، ويرجع السبب في إعتام هذه المستحلبات إلى إحتوائها على جزيئات متكثله في صورة عناقيد من البوليمر معلقة في الماء، وهذه تؤدي إلى تفريق الضوء الأبيض الذي يمر خلالها.

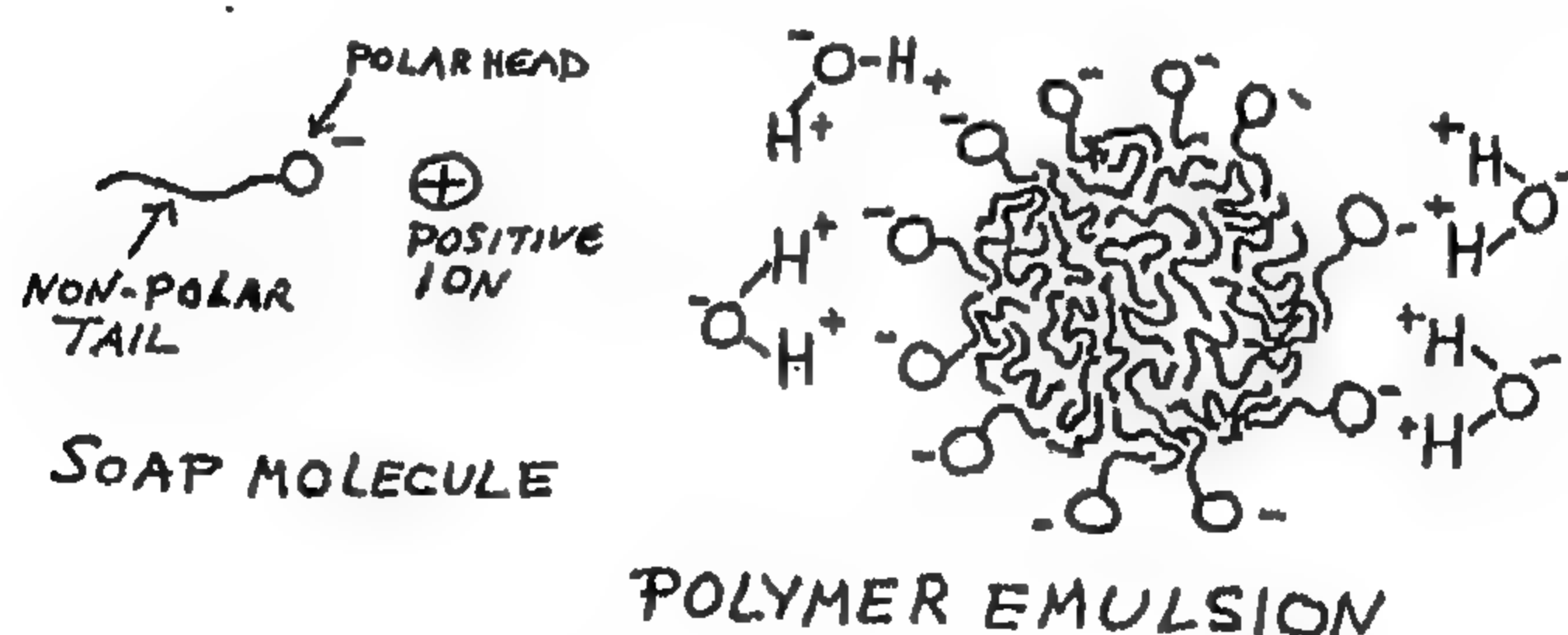


شكل رقم (٧٠) يوضح

يوضح إعتام مستحلبات راتنجات ثرموبلاستيك وتفريقها للضوء

ويلاحظ أنه في المحاليل الحقيقية The true solution الجزيئات الصغيرة المفردة تتفصل عن بعضها ولا تسبب تفريق أو تبعثر الضوء لأنها أصغر كثيرا من الطول الموجي للضوء.

ومن الممكن صنع مستحلبات باستخدام صوايين تغطي القطرات الصغيرة من جزيئات البوليمر، التي لا تذوب في الماء ... انظر الشكل رقم (٧١) حيث أن الرأس القطبي المحب للماء في الصابون تجذب الماء وتذوب فيه، ولا تسمح لقطرات البوليمر الصغيرة بالاتحاد مرة ثانية ..



شكل رقم (٧١) يوضح

مستحلب صابوني لا يذوب في الماء

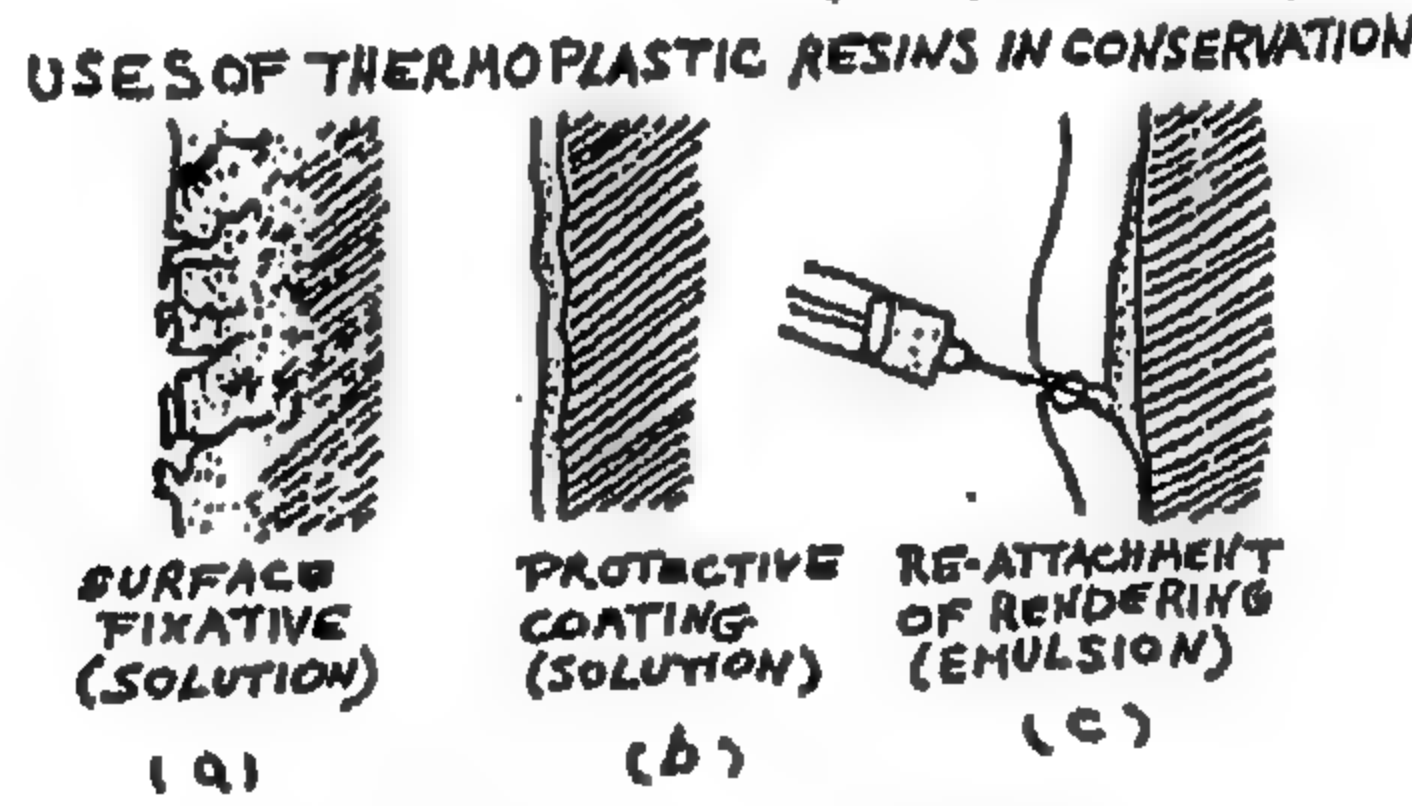
## - استخدام المستحلبات فى صيانة الآثار :

لاشك أن استخدام المستحلبات فى صيانة الآثار محدود لأنه مرتبط بحقيقة ثابتة وهى : أنها تحتوى على صابون و إضافات أخرى غير مضمون سلوكها عند القدم .

أيضا لانستطيع استخدامها فى تشبييع المواد المسامية ، لأن تجمع جزيئاتها الطويلة لايسمح بتخللها جيدا فى المسام .

و غالبا تستخدم مستحلبات راتنجات ثرموبلاستيك فى أعمال الصيانة كـ *As adhesives* لإعادة لصق طبقات البياض مرة أخرى بالجدران، أو كإضافات للجير أو الجبس أو الأسمنت عند عمل المون ، وذلك لرفع مقاومة المون للإنتشاء *Flexural strength* وأيضا تقليل هشاشيتها . *Decrease Fragility of the mortars*

وفيما يلى شكل يوضح أسلوب استخدام راتنجات ثرموبلاستيك فى أعمال الصيانة للآثار .. شكل (٧٢).



شكل رقم (٧٢) يوضح

أسلوب استخدام راتنجات ثرموبلاستيك فى الصيانة

(a) تثبيت وتقوية سطح الأثر

(b) عمل طبقة سطحية واقية

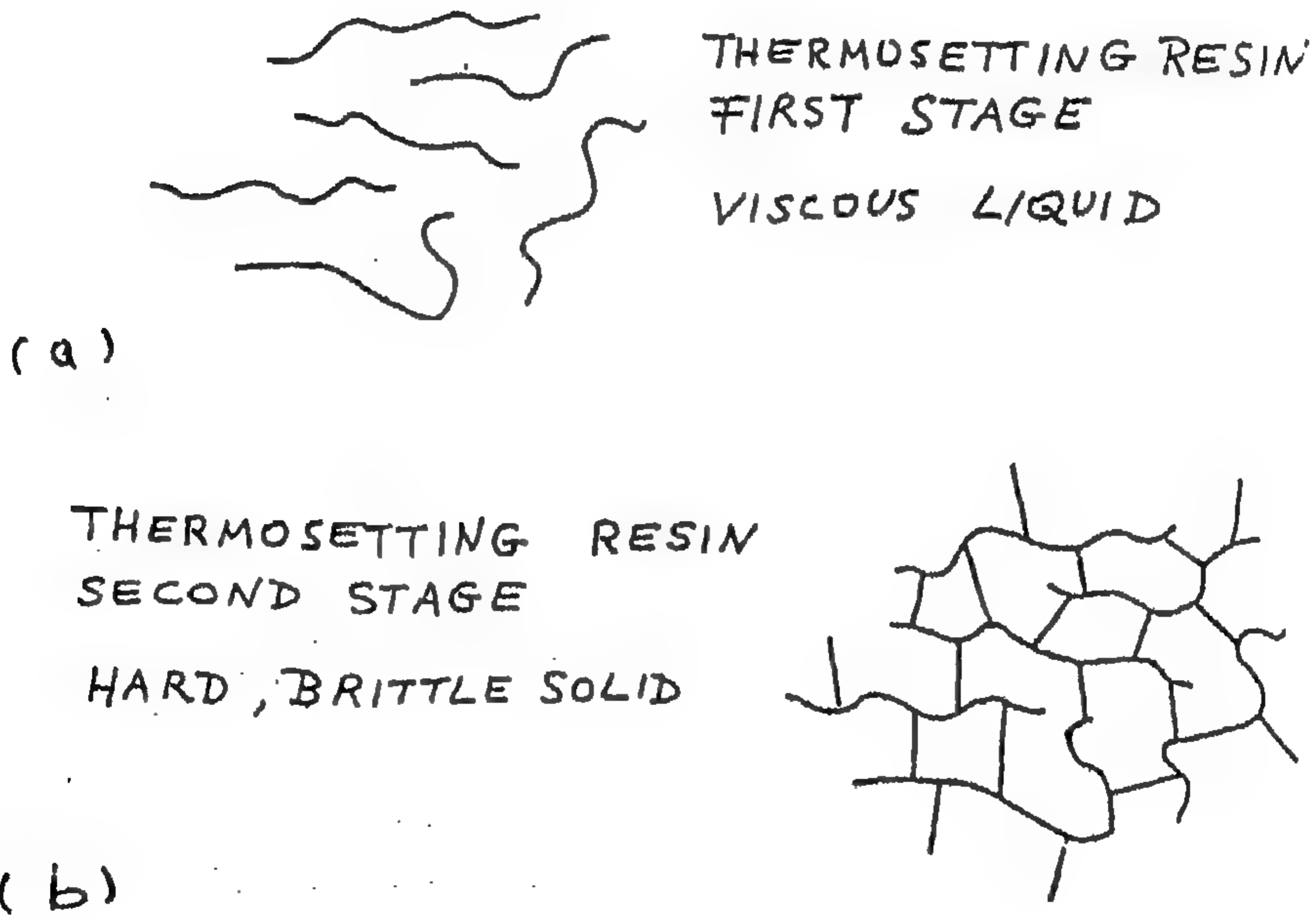
(c) إعادة تثبيت طبقة البياض

## ١٠-٢- راتنجات تستقر بالحرارة Thermosetting Resins :

يتم تصنيع الراتنجات التي تستقر أو تتصلد بالحرارة على مرحلتين :

المرحلة الاولى : تجهيز جزيئات السلاسل الطويلة بالطريقة الكيميائية .

المرحلة الثانية : التفاعل الكيميائي أو تأثير الحرارة أو كلاهما معا لحدوث ارتباط مستعرض أو تشابك Cross linking للسلاسل مع بعضها البعض لتكون في النهاية كتلة صلبة هشة Hard brittle mass وتسمى هذه المرحلة مرحلة إستقرار الراتنج . انظر الشكل رقم (٧٣).



شكل رقم (٧٣) يوضح

مراحل تصنيع راتنجات ثرموسيتنج

(a) الراتنج في صورة سائل لزج .

(b) الراتنج كتلة هشة صلبة .

الراتنجات التى تتصلد بالحرارة ، وشائعة الاستخدام هى :  
الإيبوكسيات مثل : الأراالديت ، والبولي استرات .. وكل منهما يوجد فى  
صورة سوائل لزجة Viscous liquids تتجمد بدون حرارة ، ولكن بإضافة  
سوائل أخرى تعمل كعامل حفاز Catalyst تسمى : مجمد أو مصلب  
..Hardener

وعند شك الراتنج فإن السلاسل الطويلة تظل مرتبطة مع بعضها  
البعض بروابط كيميائية قوية، على عكس راتنجات ثرموبلاستيك التى ترتبط  
جزيئاتها مع بعضها بقوة ربط جزيئية ضعيفة Weak molecular forces .  
وبناء على ذلك فإن راتنجات ثرموسيتنج بعد التجمد أو التصلد  
لا تنتنى بسهولة ، ولا يمكن تشكيلها بالحرار أو الضغط .. أى أن راتنجات  
ثرموسيتنج أصلد وأقوى من راتنجات ثرموبلاستيك ، ولكنها أيضا أكثر  
هشاشة .

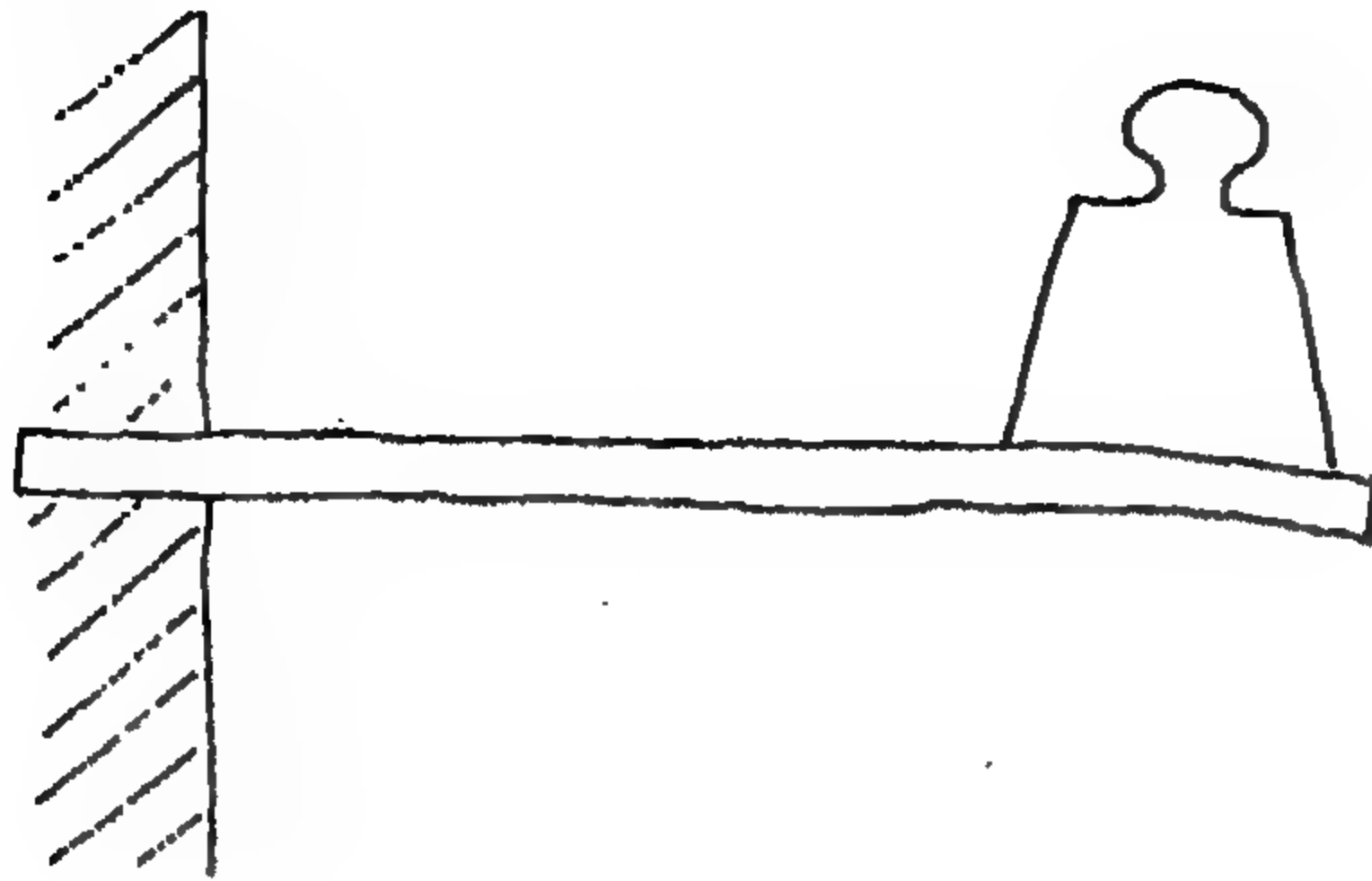
من أجل ذلك يتم تحسين الخواص الميكانيكية لراتنجات ثرموسيتنج  
بإضافة مواد مألئة لسائل الراتنج قبل الشك أو التصلد..

ومن أشهر المواد المألئة : الصوف الزجاجى Fibrous glass  
والمواد اللدنة Yields materials وذلك لتحسين خواص المرونة.

راتنجات ثرموسيتنج مواد بناء :

من الممكن استخدام راتنجات ثرموسيتنج كمواد بناء نظرا لكونها  
أكثر مقاومة للتشوهات من راتنجات ثرموبلاستيك .. انظر الشكل رقم (٧٤)  
حيث يقاوم الراتنج المسلح بالأحمال الثقيلة .





REINFORCED  
THERMOSETTING  
RESINS ARE  
STRUCTURAL  
MATERIALS

شكل رقم ( ٧٤ ) يوضح

اتنتاجات ترموسيتنج المسلحة للأحمال الثقيلة

بعض راتنجات ترموسيتنج :

راتنج الايبوكسى : راتنج الايبوكسى لاصق جيد لمعظم المواد فيما عدا  
البولى ايثيلين والنايلون والأسطح الدهنية أو الشحمية والسيليكونات ، كما أنه  
مقاوم للماء ، وللعديد من المواد الكيميائية .

واللواصق التى أساسها راتنج الإيبوكس تستخدم على نطاق واسع فى  
صيانة مواد البناء .. مثل : إصلاح الأحجار المكسرة وسد الشروخ فى  
الخرسانة ، ولحام وصل أعمدة التسليح فى المباني .. الخ .

كما أن راتنج الايبوكس أحد أشهر راتنجات ترموسيتنج التى لاتذوب  
فى معظم المذيبات ..



راتنج بولى استر : راتنج البولى استر أقل مقاومة كيميائية من الايبوكسى ، لكنه أرخص سعرا منه .. والبولى استر المسلح بألياف الزجاج مادة واسعة الانتشار والاستخدام فى الاسقف خفيفة الوزن Light weight sheds أو كعناصر بنائية Structural elements ، كما أن راتنج البولى استر المقوى يستخدم فى تكتيك ماسارى Massari technique لبناء مدماك ضد الرطوبة Damp-proof course فى المباني القديمة ، أيضا يستخدم البولى استر فى حقن الشروخ الدقيقة حيث يتصلب داخلها ويعمل على تقويتها .

كما أن كلا من الايبوكسى والبولى استر يستخدم فى عمل قوالب ، لنسخ القطع الفنية .

#### ١٠-٣- تجوية اللدائن الصناعية

##### Weathering of synthetic plastics

اللدائن الصناعية تتحلل بفعل تأثير البيئة، والعامل الأساسى فى التحلل هو: غاز الأكسجين، خاصة فى وجود الضوء ، إذ ثبت أن الأشعة فوق البنفسجية هى أخطر الإشعاعات على المواد المصنعة من اللدائن الصناعية .. وأكسدة اللدائن الصناعية يتم بأسلوبيين متناقضين ظاهريا .

الأسلوب الأول : تكسر الجزيئات ، وتكوين جزيئات صغيرة مؤكسدة oxidized fragments.

الاسلوب الثانى : فك الارتباط المستعرض Cross-linking بين السلاسل الطويلة ..

وتكون نتيجة هذه العمليات المعقدة مايلى :

١- تغير اللون Discoloration.

٢- فقد قوى الشد Loss of tensile strength.

٣- الهشاشة Brittleness .

وغالبا ماتصبح المواد قابلة للذوبان فى الماء ، ويسهل غسلها ونزحها من الأسطح الظاهرة، مثل ما يحدث لمادة البولى استر فى الأسقف المصنوعة من البولى استر المقوى باللياف الزجاج Polyester- glass Roofing .

أيضا فإن أكسدة اللدائن الصناعية تصبح سهلة لو وجد بها شوائب ، حيث يسهل مهاجمتها بالأكسجين ، وأثناء أكسدة هذه الشوائب ينتج اكسجين جديد Fresh Oxygen يكون أنشط من أكسجين الهواء الجوى ، ويعمل بسرعة على تكسير الجزيئات الأكثر مقاومة لأكسجين الهواء الجوى ..

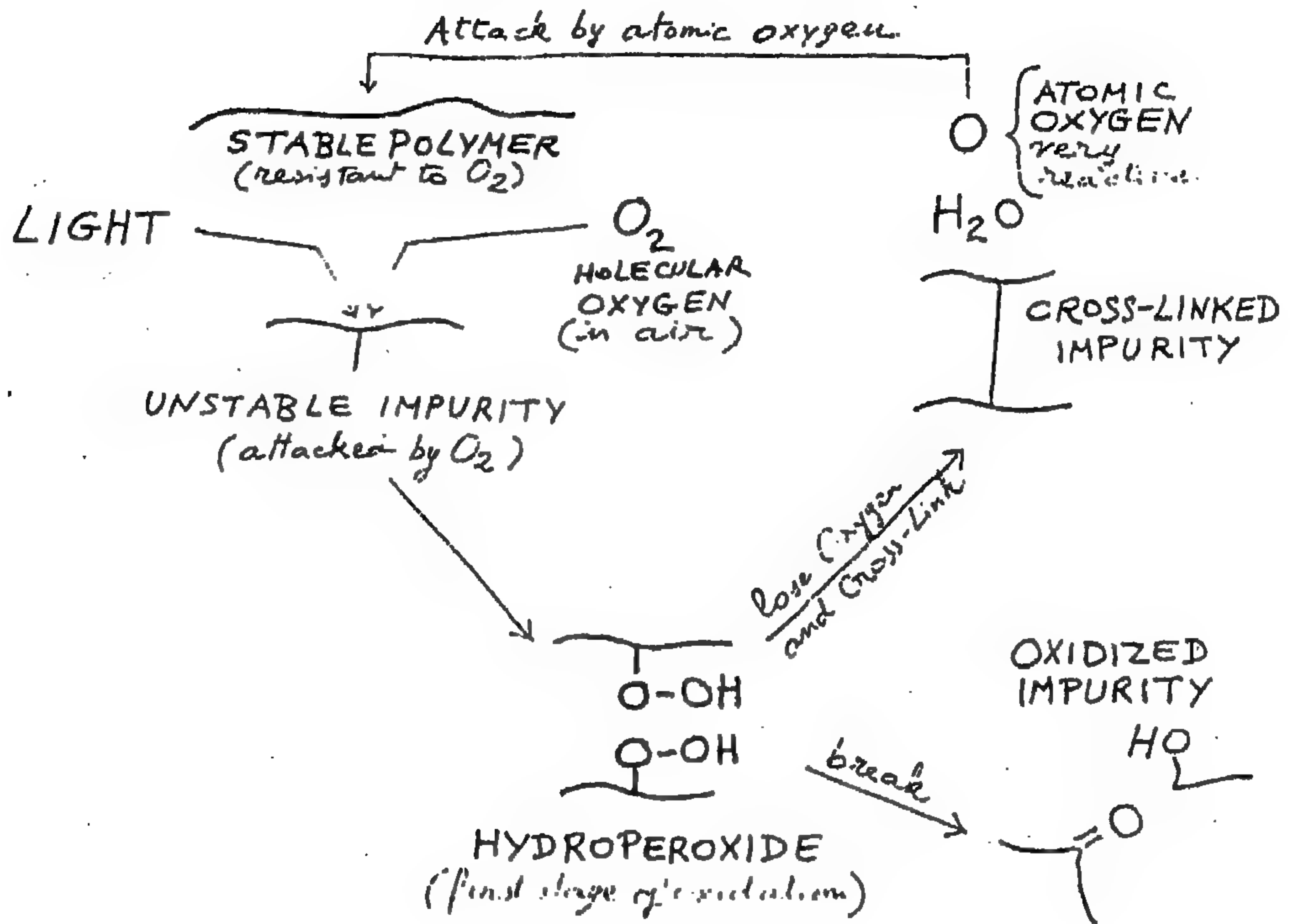
لهذا السبب فإن المواد الصناعية يجب أن تكون نقية جدا وذات خواص ثابتة إلى أقصى درجة .. انظر الشكل رقم (٧٥).

وكل المنتجات التجارية يجب أن تختبر على أفراد ، ويكرر الاختبار مرة بعد أخرى ، كما أن المواد الكيميائية المشابهة لها فى التركيب الكيميائى، لا يجب أن نوافق عليها إلا إذا قام الدليل على أن سلوكها جيد عند القدم .. ويجب أن نرفضها إذا كان سلوكها سيئ، عند القدم Ageing.

ويلاحظ أن راتنجات الاكريلك تعدلى مقاومة عالية ضد الأكسجين ، والأشعة فوق البنفسجية ، فى حين أن راتنجات الأيبوكس يتغير لونها بسرعة، لذلك لا يجب استخدامها فى الأسطح الظاهرة أو المعرضة للجو ..

والأيبوكسيات والبولى استرات تبدى مقاومة جيدة ضد عمليات القدم Ageing لو حفظت بعيدا عن الضوء والاكسجين ، مثلما يحدث عند استخدامها كإصاق بنائية ، أو مداмик مانعة للرطوبة .

## OXIDATION OF POLYMERS IS MADE EASIER BY UNSTABLE IMPURITIES



شكل رقم (٧٥) يوضح

أكسدة البوليمرات في وجود الشوائب والضوء والأكسجين

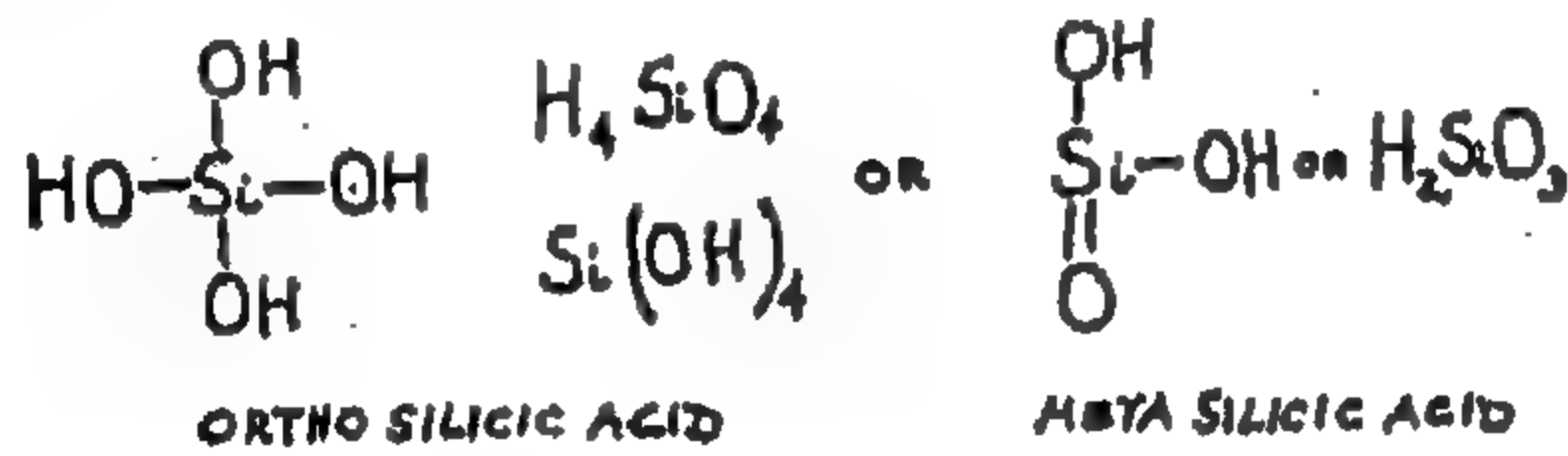
**الفصل الحادى عشر**  
**السيليكات والسيليكونات**  
**Silicates & Silicones**



## ١١-١ - السيليكا والسيليكات Silica & silicates :

يكون عنصر السيليكون اكسيد يسمى : السيليكا  $SiO_2$  والسيليكا توجد فى الطبيعة فى أشكال متعددة .. مثل : الكوارتز .. كما توجد والسيليكاجل Silicagel ، كما أنه إذا تم هدرته اكسيد السيليكون ( سيليكا + ماء ) فإنه يتصرف كما لو كان حمض ضعيف .. مثل :

Ortho Silicic Acid ، Meta Silicic Acid



وهذه الاحماض تكون املاح شمس : سيليكات Silicates فى الأحجار على سبيل المثال : سيليكات الصوديوم  $Na_2 SiO_3$  أو سيليكات البوتاسيوم  $K_2 SiO_3$  اللذان تم استخدامهما فى الماضى فى تقوية الأحجار والخشب وبعض المواد الأخرى.

تفاعل الهدرته Hydrolysis الذى يتم بين كل من سيليكات الصوديوم أو سيليكات البوتاسيوم مع الماء يكون نتيجه حمض سيليسى وهيدروكسيد صوديوم أو بوتاسيوم .

ومن المعروف أن هذه الهيدروكسيدات ذات قلوية عالية ، ويفضل تعريفها بالأسماء الآتية :

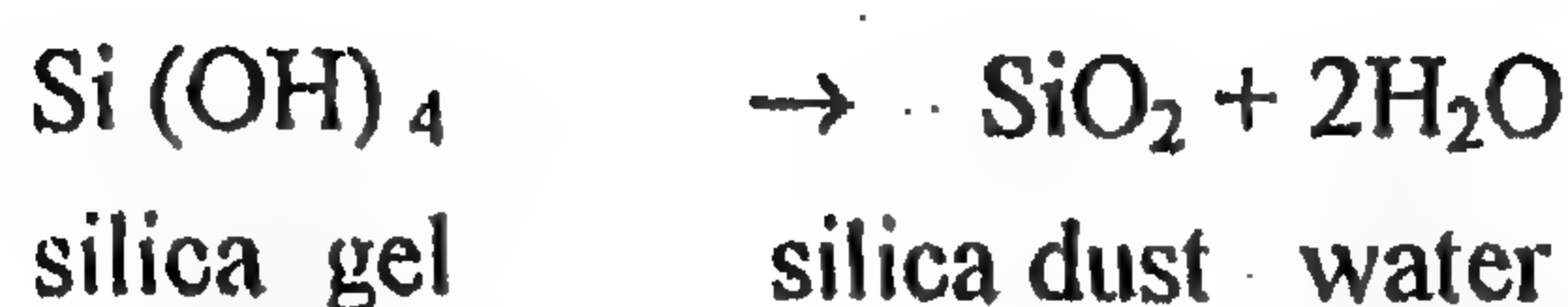
هيدروكسيد صوديوم = صودا كاوية Caustic soda

هيدروكسيد بوتاسيوم = بوتاسا كاوية Caustic potash

وعند استخدام الهيدروكسيدات السابقة فى التقوية فإن الحمض السيليسى الناتج عن تفاعل الهدرته ، يكون مسنولا عن تقوية المواد - ولو تركت هذه

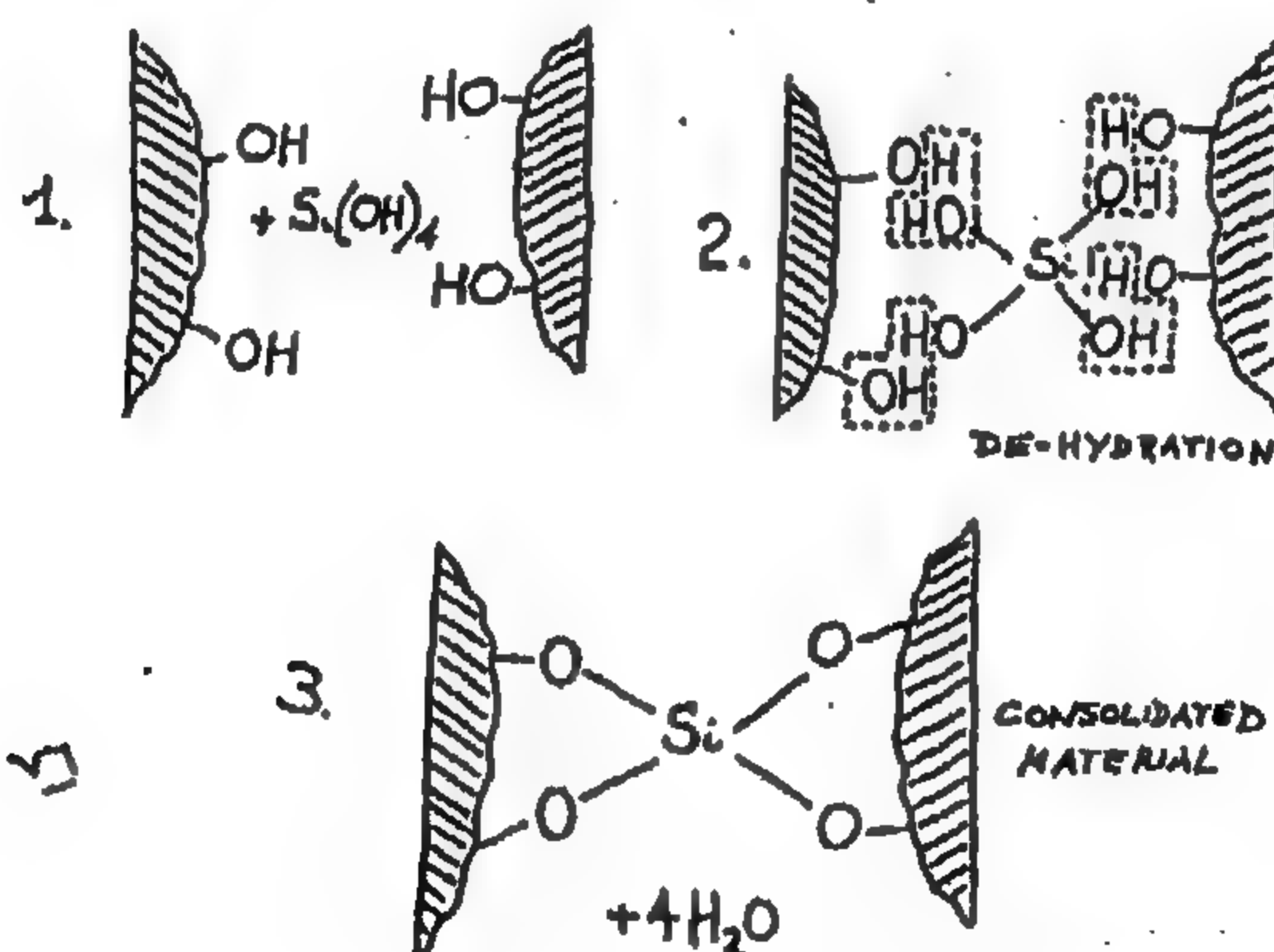


الهيدروكسيدات وحدها ، أى بدون استخدامها فى التقوية فان الحمض يتحول إلى كتلة جيلاتينية تسمى : Gel ، هذه الكتلة تتكمش باستمرار بسبب فقدها للماء حتى تتحول فى النهاية إلى تراب السيليكا Silica dust وذلك طبقا للمعادلة التالية :



أما لو تكون الحمض داخل المواد بعد استخدام الهيدروكسيدات فى التقوية، فإن المواد التى تحمل مجموعات هيدروكسيل (OH) على أسطحها مثل: الخشب والطوب والطين وأنواع عديدة من الأحجار يحدث بينها وبين الحمض المتكون عملية نزع للمياه Dehydration يكون نتيجتها تكون رابطة كيميائية بين السيليكا والمواد القطبية المحبة للماء ، هذه الرابطة يكون وظيفتها تحسين خواص التماسك لهذه المواد المعالجة

Improve the cohesion of the materials

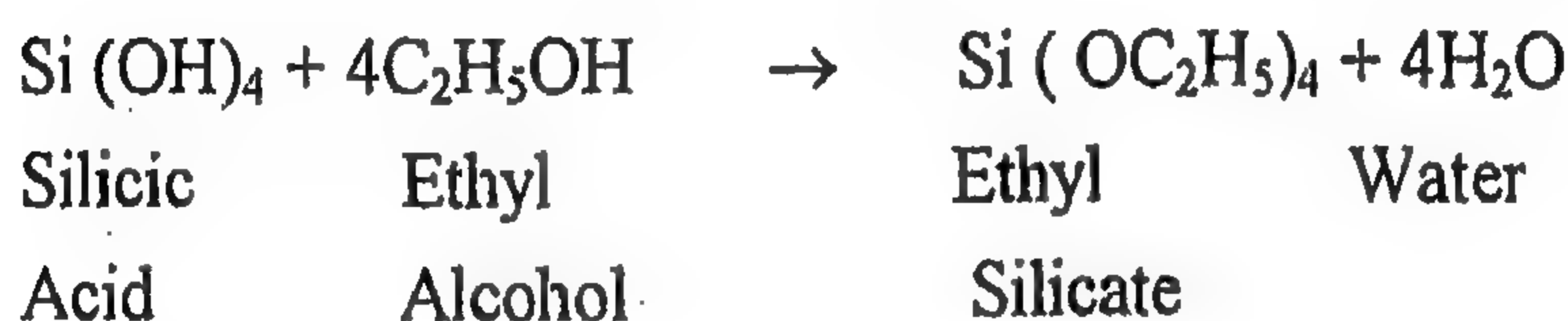


شكل رقم (٧٦) يوضح

استخدام هيدروكسيد السيليكون فى تقوية المواد

ولو رجعنا قليلا إلى الوراء فإننا سنلاحظ أن استخدام أملاح السيليكات Silicate salts والتي ينتج عنها مواد كاوية Caustic materials أثناء عملية التميؤ Hydrolysis فى تقوية المواد ، فإن المواد الكاوية تضر المواد العضوية بصفة خاصة ، وتحدث تزهير للأملاح Efflorescences على المواد المسامية غير العضوية ..

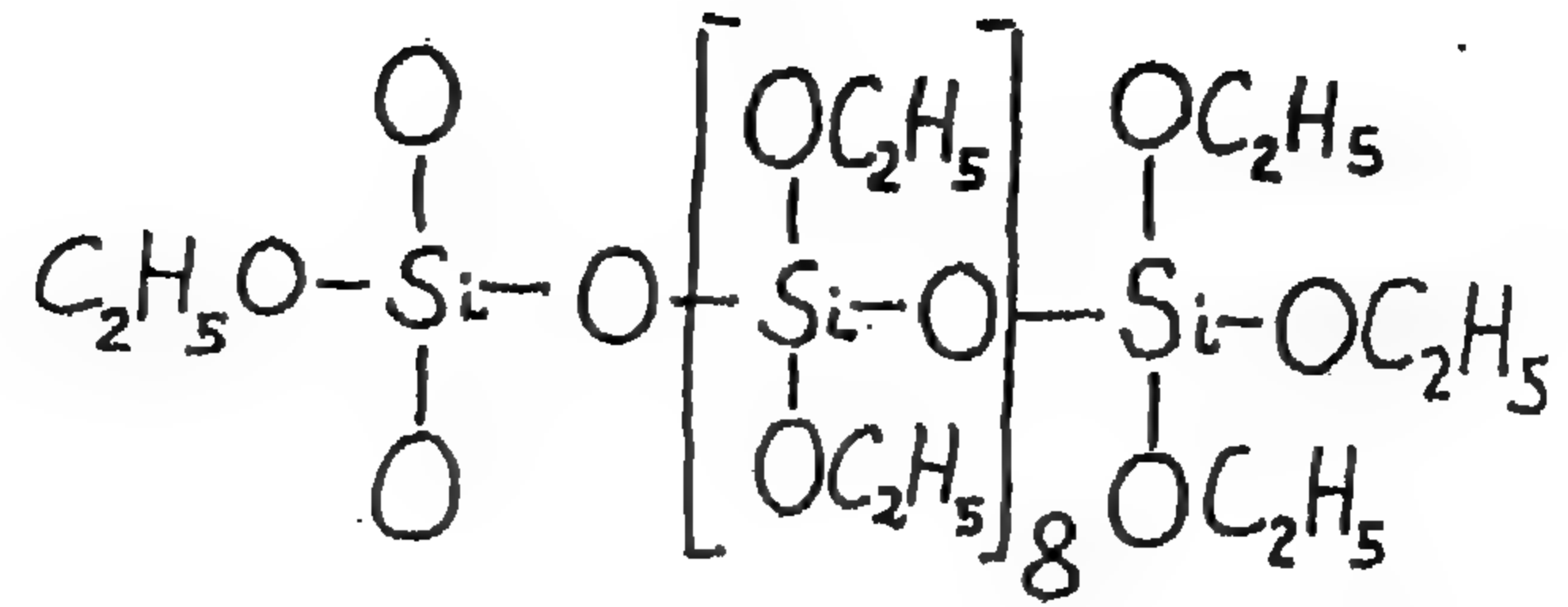
وقد يتفاعل الحمض السيليسي Silicic acid مثل كل الأحماض مع الكحولات لتكوين استرات Esters تسمى نسبة إلى الحمض سيليكات وان كان من الأفضل تسميتها: استرات السيليكات Silicate Esters وذلك طبقا للمعادلة التالية .



واسترات السيليكات متاحة فى السوق تحت مسميات تجارية مختلفة ... مثل : Silester وبعض أنواع استرات السيليكات تحتوى على جزيئات مفردة ، مثل : الإستر الموضح ، فى المعادلة السابقة ، وإسمه الكيميائى الكامل:

Tetra - Ethyl - Ortho - Silicate

كما يوجد أنواع أخرى تحتوى على جزيئات طويلة وهذه تتكون بواسطة عملية التكثيف Condensation للعديد من الجزيئات المفردة .. مثل: سيليكات الإيثيل Ethyl silicate 40 - ٤٠ والذي يتكون نتيجة لتكثيف حوالى عشرة جزيئات مفردة .



### EHYL SILICATE 40

هذا مع العلم بأنه يمكن إنتاج أنواع عديدة من الأحماض السيليكية ،  
من نفس حجم السائل ، وذلك فقط في الأنواع التي تنتج بعملية التكثيف ..

أيضا تستخدم إسترات السيليكات في التقوية ، وذلك لأنها تتميا  
Hydrolyzed في حالة استخدام عامل حفاز حمضى An acid catalyst  
ويكون ناتج عملية التميؤ حمض سيليسى يستطيع القيام بعملية التقوية كما في  
حالة أملاح السيليكات ..

هذا وتتميز إسترات السيليكات عن أملاح السيليكات بغياب المواد  
الكاوية المنتجة جانبيا أثناء تفاعل الهدرته .

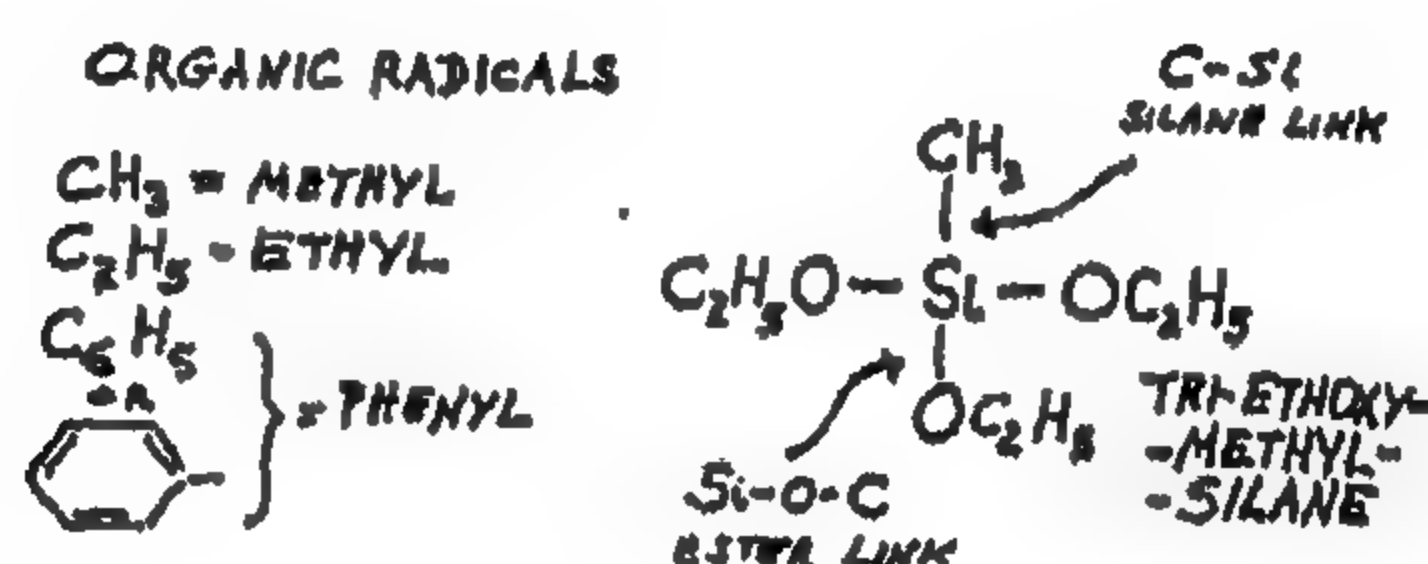
وفي حالة سيليكات الإيثيل فإن المنتج الجانبى يكون الكحول الإيثيلى،  
الذى يتبخر ولايسبب أى مشاكل .. وقد تحدث بعض المشكلات فى حالة  
استخدام عامل حفاز حمضى ، لو أن بعض المواد التى سيتم تقويتها حساسة  
للأحماض ..

كما أن استخدام إسترات السيليكات بصفة عامة فى التقوية عملية  
صعبة للغاية، وذلك اعتمادا على حقيقة هامة وهى: أنها مواد طيارة، ويجب  
اتخاذ الاحتياطات اللازمة لتجنب البخر قبل ماتصل مادة التقوية إلى المكان  
المطلوب تقويته .

## ١١-٢ - السيليكونات Silicones:

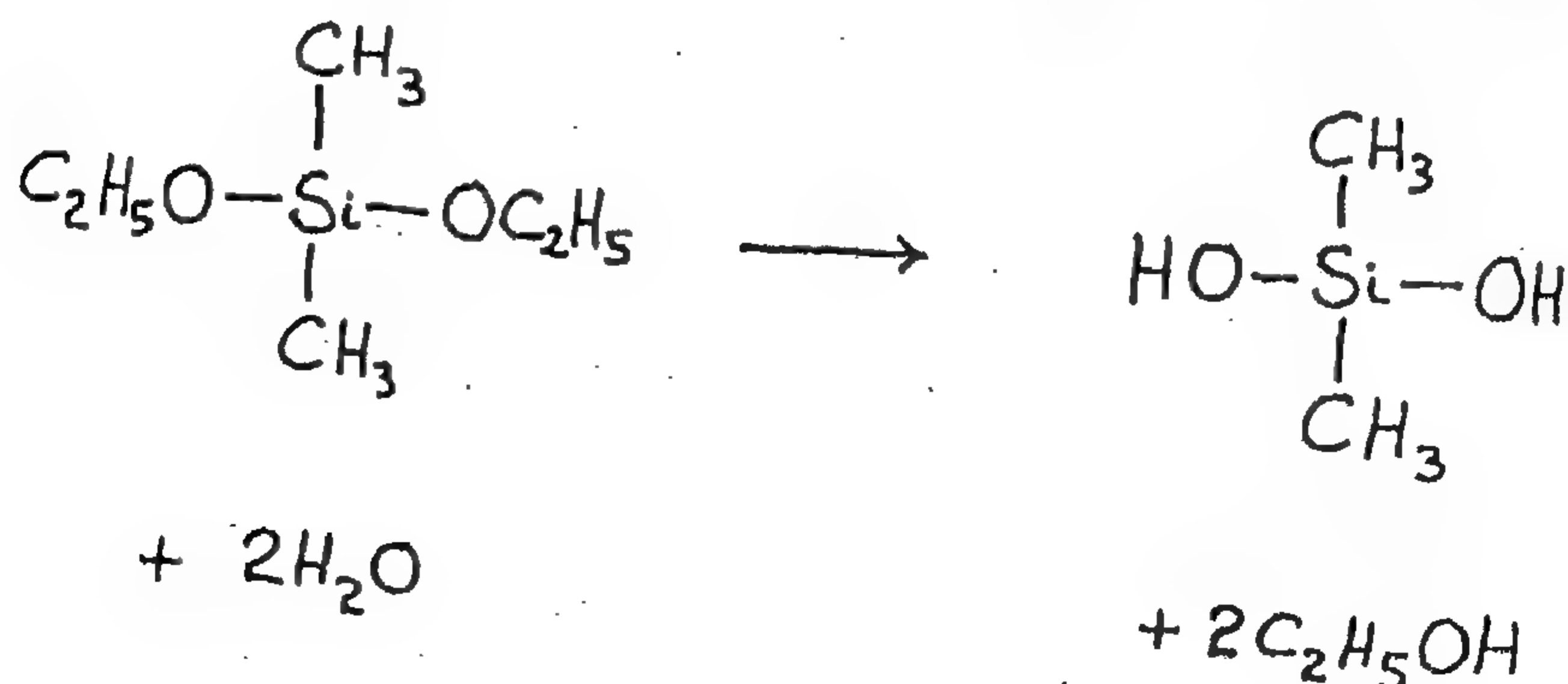
لو أن الشق العضوى ، أى مجموعات الكربون وذرات الهيدروجين إتصلت مباشرة بالسيليكون من خلال رابطة السيليكون والكربون Si-C فإن المركبات الناتجة تسمى : Alkoxy - Silanes .

بعض هذه المركبات تحتوى على روابط C-Si السيلان والاستر Si-O-C فى نفس الوقت مثل : Tri- Ethoxy - methyl silane

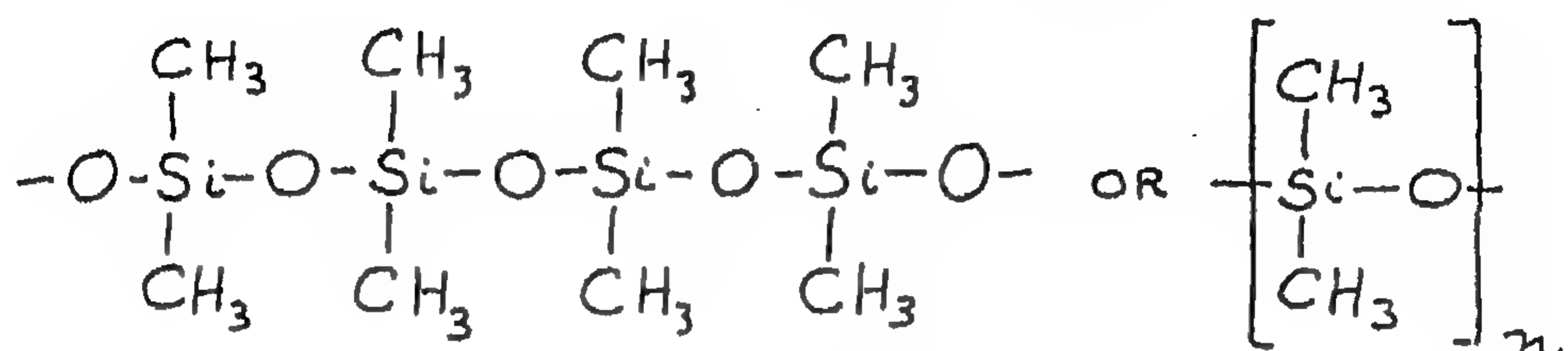


وعندما تتفصل رابطة الاستر Si-O-C بواسطة تفاعل الهدرته ، فإن رابطة السيلان Si-C تقاوم الهدرته Hydrolysis .  
لذلك فإن هدرته مركبات السيلان مثل :

Ethoxy - alkyl- Silanes تؤدي إلى مركبات تظل محتوية على الشقوق العضوية ، كما يظهر من المعادلة التالية:



ولو تم نزع الماء من مثل هذه المركبات ، واتصلت جزيئاتها ببعضها ( من ٢٠-٢٠٠ جزيء ) فإن الناتج يكون سلسلة طويلة من الجزيئات ، يكون أهم خصائصها إحتوائها على جزيء عضوى وجزيء غير عضوى .. وهذه تسمى : سيليكونات Silicones



$$200 > n > 20$$

وجزيء السيليكون الموضح عاليا يحتوى على مجموعات ميثيل فقط  $\text{CH}_3$  ، لكن من الممكن استخدام السيليكونات التى تحتوى على مجموعات الفينول  $\text{C}_6\text{H}_5$  .

والجزيئات ذات التركيب الخطى Linear Structure مثل الجزيء الموضح عاليا ، يكون قابل للذوبان فى المذيبات العضوية ..

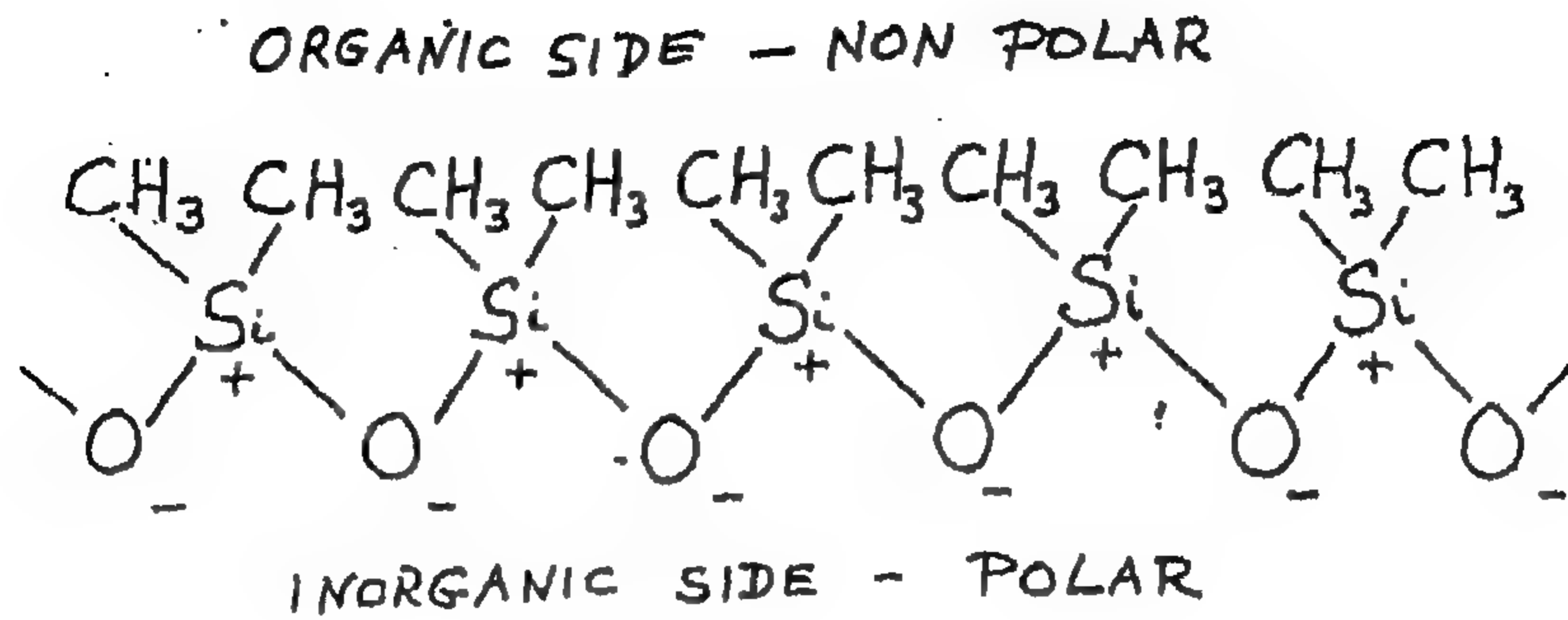
أيضا السيليكونات غير القابلة للذوبان فى المذيبات العضوية ، هى أيضا سيليكونات مصنعة ، ذات ثلاث أبعاد ، وبناءها متقاطع الروابط Cross-linked.

### ١١-٣- السيليكونات الطاردة للماء

#### Water Repellency of Silicones

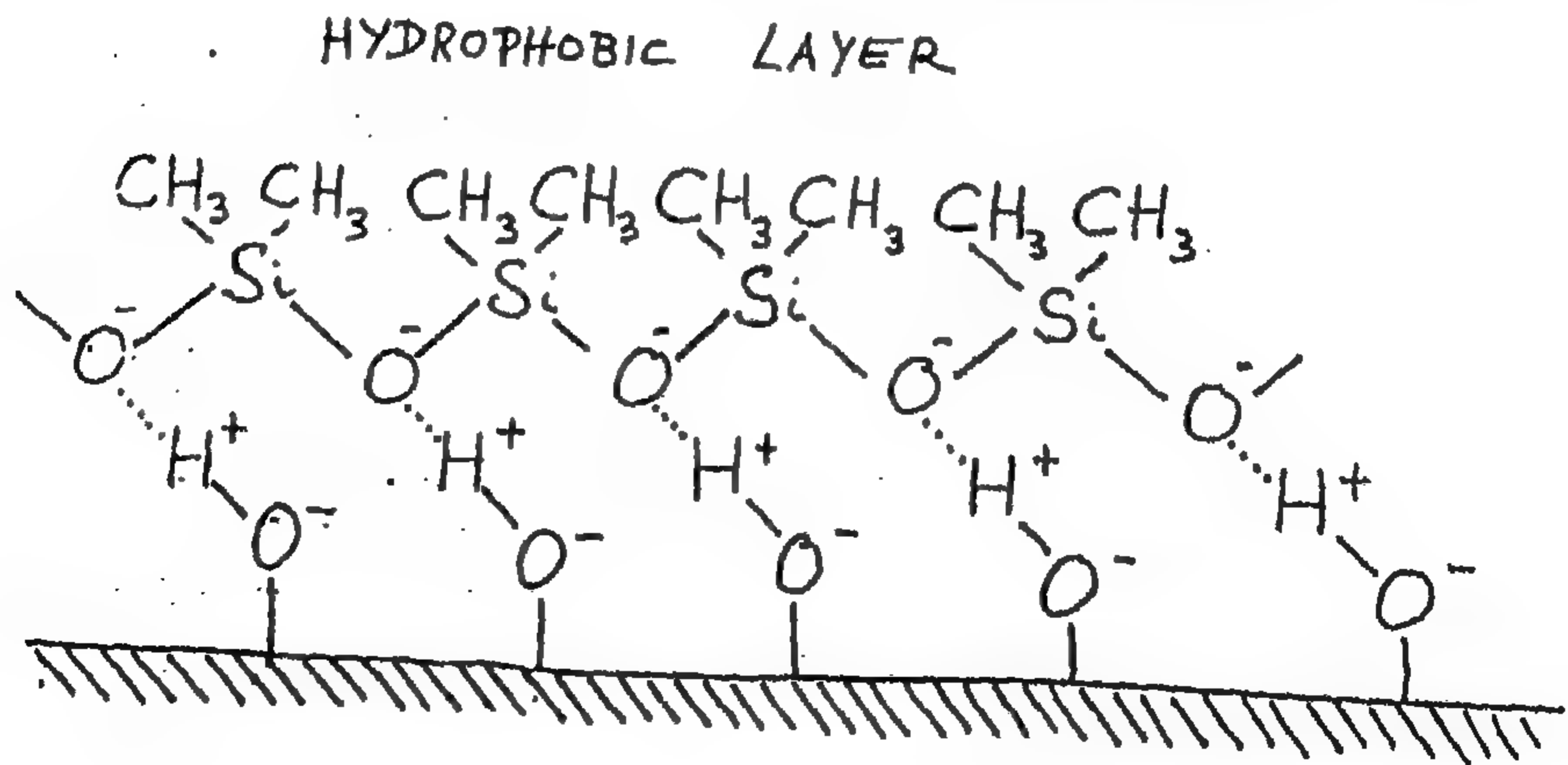
الجزء غير العضوى فى جزيء السيليكون  $\text{Si-O}$  هو جزء قطبى إلى حد ما ، فى حين أن الجزء العضوى فى نفس الجزيء  $\text{CH}_3$  or  $\text{C}_6\text{H}_5$  هو جزء غير قطبى Non Polar.





وعندما يتم معالجة احدى مواد البناء بمادة السيليكون ، وحيث أن أسطح هذه المادة تحمل مجموعة هيدروكسيل (OH) فإن الجزء غير العضوى القطبى فى جزيئات السيليكون ينجذب نحو هذه المادة ، وكنتيجة طبيعية فإن الجزء غير القطبى يتجه نحو الهواء ، وينتج عن ذلك طبقة واقعية مانعة للماء.

أى تتكون فوق سطح المادة المعالجة طبقة غير قطبية ، لاتؤدى إلى تكوين روابط هيدروجينية مع جزيئات الماء ، وتسمى هذه الأسطح: أسطح كارهة للماء Hydro phobic أو مانعة للماء.

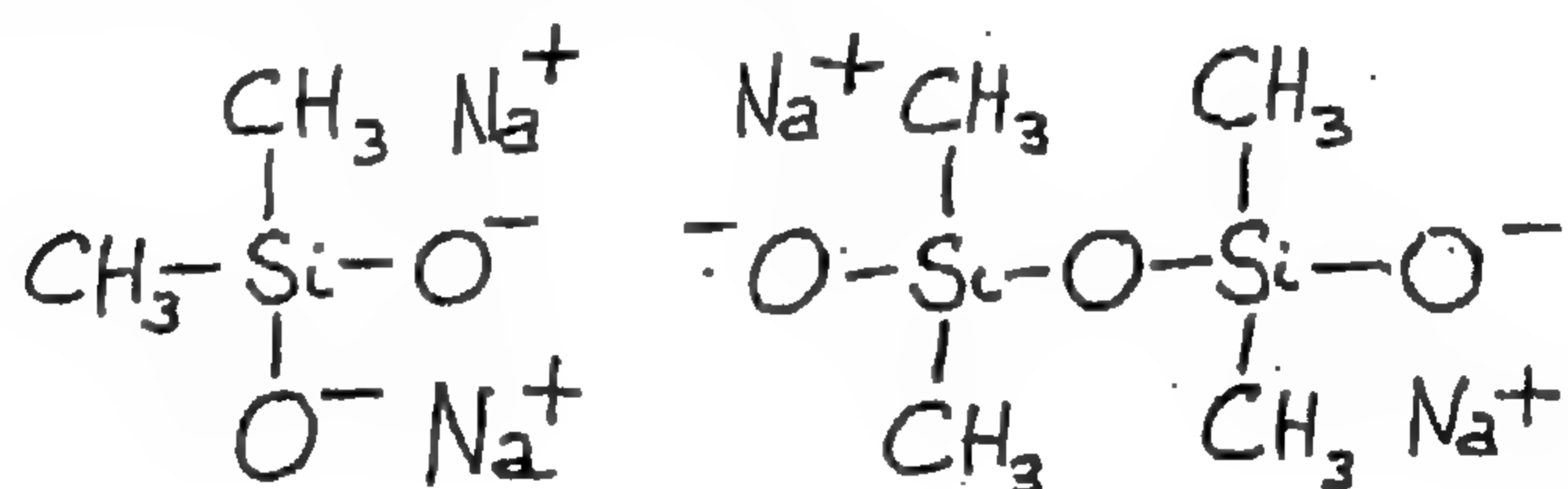




هذا وتعتبر طبقة السيليكون الواقية ، طبقة منفذة لبخار الماء، وذلك لوجود فراغات كافية بين جزيئات السيليكون ، تسمح لجزيئات الماء المعزولة بالمرور خلال الحواجز السيليكونية التي تمنع المياه في حالتها الطبيعية من المرور.

السيليكونات ذات الجزيئات الخطية تذوب في المذيبات العضوية، وغير قابلة للذوبان في الماء، وان كان بعض السيليكونات يذوب في الماء ، إلا أن هذه السيليكونات تكون بعد استعمالها طبقة مانعة للماء، وذلك لأن السيليكون يحتوى على بعض مجموعات الهيدروكسيل OH التي تتحول إلى أملاح الصوديوم ، على سبيل المثال .

#### WATER SOLUBLE SILICONES

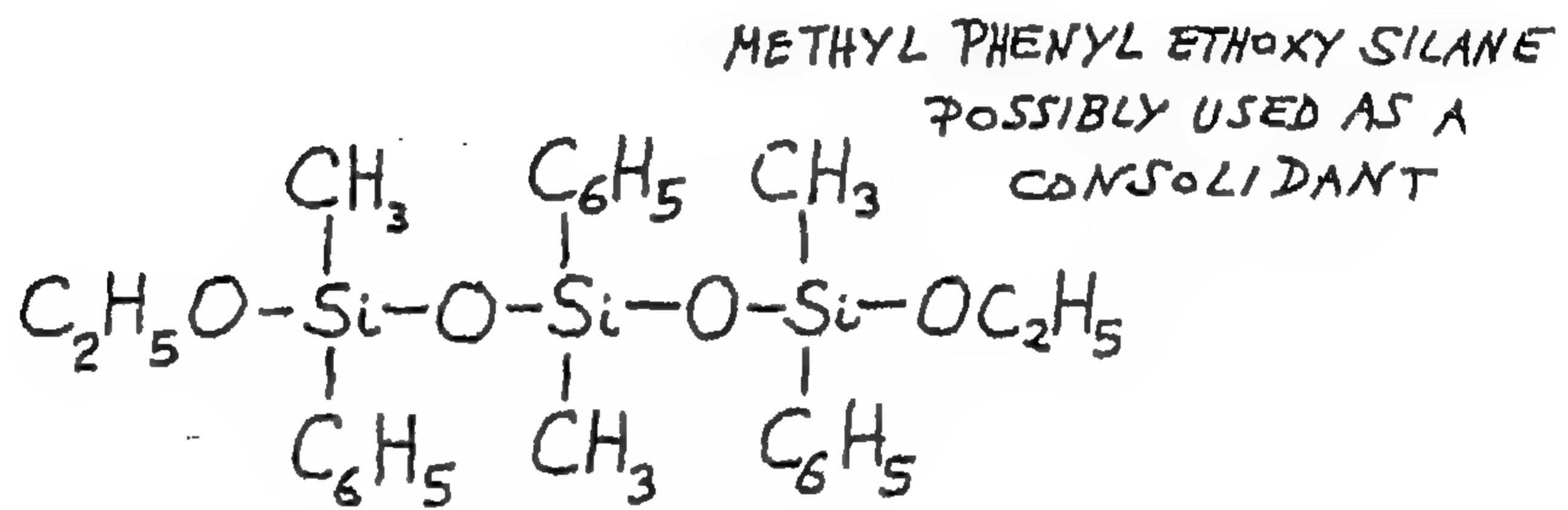


من أجل ذلك ، وكما في موانع الماء ، فإن هذه السيليكونات التي تذوب في الماء ، تظهر أقل كفاءة من السيليكونات التي تذوب في المذيبات. وعندما يتم استخدام السيليكونات كطبقة سطحية ، فإن تأثيرها يكون مؤقتا ، لأن الطبقة سيكون سمكها حوالى جزيء واحد فقط، وربما تستطيع تحمل التلف الميكانيكى ، أو تتحطم بعوامل التجوية الكيميائية تحت تأثير الأكسجين والضوء .

أيضا تستخدم السيليكونات التي تحتوى على كل من روابط السيلان والاستر كمقويات للحجر فى عمليات التشيع العميق Deep impregnation لأنها تسبب منع الماء والتهوية فى نفس الوقت .

### Water Repellency & Consolidation

مثال ذلك Methyl Phenyl Ethoxy Silane ..



ويلاحظ أن الرمز الموضح عاليه يبين البنية التقريبية لراتنج السيليكون المستخدم فى صيانة الرخام الذى تعرض لعمليات التجوية

.Weathered marble

\*\*\*\*\*



## المراجع

### **Deterioration and conservation in general:**

Honeyborne, D.B. - Harris, P.B. The structure of porous building stone and its relation to weathering behaviour.

In: Proceedings of the 10th symposium of the colston research sociey. Eds. Everett, D.H. Stone. F.S. Butterworths, London, 1958, 343-365.

Mc Intyre, W.A. Investigation in the durability of architectural terracotta and faience. Special Report n. 12. Building Research, Dept. Of Sci. Ind. Research. H.M. Stationery Office., London , 1929.

Schaffer, R.J. The Weathering of Natural Building Stone. H>M. Stationery Office, London, 1950.

Stambolov, T. -VANAsperen de BOER, J.R. J. Te Deterioration and Conservation of Porous Building Materiales in Monuments. 2nd ed., ICCROM, Rome, 1976.

Torraca, G. Brick. Adobe, stone and architectural ceramics: deterioration processes and conservation practices. In:

Presservation and conservation. Principles and practices. Ed. Timmons, S. Smithsonian Institution Press, Washington DC, 1976, 143-156.

Winkler, E.M. Stone Properties, Durability in Man's Environment. Springer Verlag, New York 1975.

#### **Chapter 1- Water Movement:**

Arnold, M. Salt Damp Research Committee. Second Report. South Australian Government Printer, Adelaide, 1978, 27-65.

CAMMERER, W.F. The capillary motion of moisture in building materials. CIB/RILEM Second International symposium on Moisture Probleme in Buildings. Rotterdam. 1974. Paper 2.1.2.

Haller, P. Entgegnung zum aufsatz " Anwendung von Elektro-osmose gegen aufsteigende Mauerfeuchtigkeit". Schweizerische Bauzeitung, 91, 35, 1973, 832-836.

Lacy, R.E. A note on the climate inside a mediaeval chapel. Studies in concervation, 15. N.2 1970. 65-80.

Massari, G. - Massari, I. Damp Buildings, old and New  
Manuscript available at ICCROM. Publication  
foreseen.

Vos. B.H. - Tammes, E. Suction of groundwater, Studies in  
conservation, 16, N.4 1971, 129-144.

Vols, B.H. Water Absorption and drying of materials. In:  
The Conservation of Stone. Ed. Rossi Manaresi, R.  
Centro Cesare Gnudi per la conservation delle sculture  
all Aperto, Bologna, 1975, 679-694.

Watson, A. Measurement of moisture content in some  
structures and materials by microwave absorption.  
Building Research Station Current Papers, Research  
Series N.63. H.M. Stationery Office, London, 1965.

#### **Chapter 11- Stress, External and Internal.**

Accardo, G.- Massa, S. - Rossi Doria, P. Tabasso, M.  
Measurements or porosity and mechanical resistance  
in order to evaluate the state of deterioration of some  
stones. UNESCO/RILEM Colloque International sur  
l' alteration et la protection des monuments en pierre.  
CEBTP, Paris , 1978, paper 2.1.



- Arnold, L. - Price, C.A. The laboratory assessment of stone preservatives. In : The conservation of stone. Ed. Rossi Manaresi, R. Centro Cesare Gundi per la Conservazione delle Sculture all' Aperto, Bologna, 1975, 695-704.
- Arnold, L. - Honeyborne, D.B. - Price, C.A. Conservation of natural stone, Chemistry and Industry, 17th April. 1976, 345-347.
- Director of Building Research. Report of the Building Research Board for the Period Ended 31st December 1926. H.M. Stationery Office, London, 1927.
- Everett, D.H. The thermodynamics of frost damage to porous solids. Transactions Faraday Society 56, 1961. 1541-1551.
- Fagerlund, G. The significance of critical degrees of saturation at freezing of porous and brittle materials. In: Durability of concrete, Publication SP 4, Part Sp 4-2, American Concrete Institute, Detroit, 1975.
- Gordon, J.E. The New Science of Strong Materials. 2nd ed. Penguin Books, Harmondsworth, 1976.

Honeyborne, D.B. Weathering processes affecting inorganic building materials. Internal Note 141/65. Building Research Station,, Garston, 1965.

Litvan, G.G. Testing the frost susceptibility of bricks. In: Masonry Past and Present, Astm Stp 589, 1975, 123-132.

Pauly, J.P. Maladie alveolaire, conditions de formation et d'evolution. In: The conservation of stone. Ed. Rossi Manaresi, R. Centro Cesare Gundi per la Conservazione delle Sculture all' Aperto. Bologna, 1975, 55-80.

Price, C.A. Stone decay and preservation. Chemistry in Britain 11 , 1975, 330-353.

### **Chapter III- Chemical Processes, Corrosion.**

Altieri, A. - Funicello, R. - Lupia Palmieri, E.-Zuppi, G.M. Caratteri dell'alterazione delle pietre da costruzione a venezia; azione dello zolfo atomsferice su rocce carbonatiche. Annli dell' Istituto Superiore di Sanita 13 ( Parte 1011(, 1977, 3310342.

Badan, B. - Bacelle, G. - Marchesini, L. Surface reactivity of marble and stone: quarry and altered samples. In: The conservation of stone. Ed. Rossi Manaresi, R. Centro Cesare Gundi per la Conservazione dell Sculture all'Aperto, Bologna, 1975, 89-101.

Marchesini, L. Comportamento dei marmi e delle pietre a Venezia. IN: La Conservatione delle sculture all, aperto. Centro Cesare Gnudi per la Conservatione delle Sculture all'Aperto, Bologna, 1971, 78-86.

Sramek, J. Determination of the source of surface deterioration of tombstones at the old Jewish Cemetery in Prague. Studies in Conservation, 25, 1980, 47-52.

Torraca, G. Atmospheric sulphur and the deterioration of building stone. In: Sulphur Emissions and the Environment. The Society of Chemical Industry, London, 1979, 305-310.

Winkler, E.M. Weathering rates of stone in urban atmospheres. In: The Conservation of Stone. Ed. Rossi Manaresi, R. Centro Cesare Gnudi per la

Conservazione delle Sculture all'Aperto, Bologna,  
1975, 26-36.

#### **Chapter IV - Biodeterioration.**

Eckhart, F.E.W. Microorganisms and weathering of a sandstone monument. In: Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology, Vol. 2. Ed. Krumbein, W.E. Ann Arbor Sci. Publ. Inc. Ann Arbor, 1978, 675-686.

Krumbein, W.E. - Lange, C. Decay of plaster, paintings and wall material of the interior of buildings via microbial activity . In: Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology, Vol. 2. Ed. Krumbein, W.E. Ann Arbor Sci. Publ. Inc., Ann Arbor, 1978, 687-697.

Rossi Manaresi, R., ed. Biodeterioration and related problems. In: The Conservation of Stone. Centro Cesare Gundi per la Conservazione delle Sculture all'Aperto, Bologna, 1976, 191-293.

Various Authors, Unesco- Rilem. Alteration et traitements lies a la biologie ( Seance 4). Alteration et protection

des monuments en pierre. CEPTP, Paris, 1978, Papers 4.1 to 4.4.8.

## **Chapter V- Vibration.**

Bocquet, D.- Girard, J. - Le Houedec, D. - PiCCARD, J. Les vibrations dues au trafic routier: action sur l'environnement et methodes d'isolation. Annales ITBTP, 355, 1977, 57.

Bramer, T.P.C., and others. Basic Vibration Control. Sound Research Laboratories Ltd., E. And F. Spon Ltd., London, 1977.

Massari, G. Danno ai monumenti da traffico stradale pesante. Ingegneri Architetti, XXI, V-VI, 1971, 1-9.

Paribeni, H. Influenza delle vibrazione meccaniche indotte dal traffico sulla stabilita delle costruzioni. 3° Corso di informazione Assirco, Unpublished manuscript, ICCROM Library, 1980.

Steffens, R.J. Structural vibration and damage. Building Research Establishment, Report 21-L5-1974.

Waller, R.A. Building on Springs. Pergamon Press, Oxford, 1969.



Whiffin, A.C. - Leonard, D.R. A survey of traffic induced vibrations. Road Research Laboratory, Report LR 418. Crowthorne, 1971.

#### **Chapter Vi- Binders.**

Davey, N. A History of Building Materials. Phoenix House, London, 1961.

Ferragni, D., and others. Essais de laboratoire sur des coulis a base de ciment. In: Mortare, Cemente and Groute used in the Conservation of Historic Buildings. Symposium 3-6 November 1981, Rome ICCROM, Rome, 1982,

Foucalt, M. Le platre. In: Calcium Sulphates and Derived Materials. Rilem, Paris, 1977, 271-284.

Furlan, V. Evolution et historique du mortier. Lecture notes, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne. Laboratoire des Matériaux Pierreux, Lausanne, 1976.

Furlan, V. Caracteristiques generales des principaux liants utilises pour les travaux de crepissage. Lecture notes. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne. Laboratoire des Matériaux Pierreux, Lausanne, 1967.



- Furlan, V.- Bisseger, P. Les mortiers anciens, histoire et essais d'analyse scientifique. Zeitschrift für schweizerische Archologie und Kunstgeschichte, 32, 2, 1975, 166-178.
- LEA, E.M. The Chemistry of Cement and Concrete, 3rd ed. Edward Arnold. London, 1978.
- Milner, J.D. Masonry and masonry products: the use and preservation of mortar, plaster/stucco and concrete. In: Preservation and Conservation : Principles and Practices. Ed. Timmons, S. The Smithsonian Institution Press, Washington , D.C., 1976, 177-189.
- Murat, M. Structure, Cristallochimie et reactivite des sulfates de calcium. In : Calcium Sulphates and Derived Materials. Rilem. Paris, 1977, 59-172.
- Peroni, S., and Others, Lime based mortars for the repair of ancient masonry and possible substitutes. In: Mortars, Cements and Croute used in the conservation of Historic Buildings, Symposium 3-6 November 1981, Rome, ICCROM, Rome 1982.

Znachko- Iavorskii, I.L. Methods for the study and contemporary aspects of the history of cementing materials. Technology and culture 18, N.1, 1977, 25-42.

## **Chapter VII - Conservation of Stone.**

Ashurst, J. - Dimes, F.G. Stone in Building. The Architectural Press, London, 1977.

Hosek, J. - Skupin, L. Consolidation and hydrophobization of cretaceous marly limestone used in monuments. Report. Building Research Institute of the Technical University, Prague, 1978.

Price. C.A. Brethane stone preservative. Building Research Establishment Current paper. CP 1/81. BRE. Garston. 1981.

Rossi Manarsi, R., ed. The conservation of stone. Centro Cesare Gudi per la conservazione delle Sculture all' Aperto, Bologna, 1976.

Rossi Manaresi, R. - Torraca, G., ed. The Treatment of Stone. Centro Cesare Gnudi per la Conservazione delle Sculture all' Aperto, Bologna, 1972.

Thomson, G., ed. Conservation of Stone. IIC, London, 1971.

Various Authors, UNESCO/Rilem: Essais sur les produits et procedes de traitement ( Seance 6) . Restauration des monuments en pierre. CEBTP, Paris, 1978, papers 6.1 to 6.15 and 7.3 to 7.20.

### **Chapter VIII- Clay, Adobe, Bricks.**

Chiari, G. - Gullini, G. - Torraca, G. Report on mudbrick preservation, Mesopotamia, VII. Universitadi Torino, Turin 1972, 259-287.

Clifton, J.R. Preservation of historic adobe stuctures. A status report. Technical Note 934. National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1977.

Clifton, J.R. - Davis, F.L. Mechanical properties of adobe, Technical note 996. National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1979.

ICCROM. Adobe (mud-brick) bibliography. Unpublished , available at ICCROM Library, 1980.

ICOMOS. First International Conference on the Conservation of Mud-brick Monuments. Yazd ( Iran), 25-30 September, 1972. Ministry of Culture of Iran, Tehran, 1976.

ICOM-ICOMOS Committees of Turkey. IIIrd International  
Symposium on Mud- Brick ( Adobe) Preservation.  
ODTU University, Ankara, 1980.

#### **Chapter IX- Conservation and Deterioration of Masonry.**

Bowley, M.J. Desalination of stone: a case study. Euiliding  
Research Estabilshment, Cu9rrent Papers N.46. H.M.  
Stationery Office, London, 1975.

Holmstrom, I. - Sandstrom, C. Maintenancoe of old Buildings.  
Preservation from the Technical and Antiquarian  
Standpoint. National Swedish Building Research,  
Stocknolm, 1975.

Jedrzejewska, H. Removal of soluble salts from stone. In:  
1970 New York Conference. Volume I. Conservation  
of stone. 2nd ed. IIC. London 1970, 19-33.

#### **Chaptr X - Synthetic Resins.**

Brydson, J.A. Plastics Materisals. Iliffe Books, London,  
1970.

Thomson, G. - Werner, A.E.- Feller, R.L. Synthetic  
materials used in the conservation of cultural property.

In; The Conservation of cultural Property. Unesco Press. Paris, 1975, 303-333.

#### **Chapter XI- Silicates and Silicones.**

Gerard, R. Etude de la protection des pierres calcaires au moyen de resines silicones. In' The treatment of stone. Eds. Rossi Manaresi, R. - Torraca, G. Centro Cesare Gudi per la conservation delle Sculture all' Aperto, Bologna, 1972, 145-163.

Weber, H. Stone Renovation and Consolidation using Silicones and silicic esters. In: The Conservation of Stone. Ed. Rossi Manaresi, R. Centro Cesare Gnudi per la Conservazione delle Sculture all' Aperto, Bologna, 1976, 375-385.

\*\*\*\*\*











## هذا الكتاب

يقدم فيه المؤلف أفكارا مناسبة من مختلف العلوم ؛ يعرضها بصورة مبسطة وواضحة ؛  
ليفسر من خلالها أسباب تلف المباني الأثرية ؛ وطرق صيانتها و ترميمها ؛ و الحفاظ عليها ؛ لتظل  
مرآة تعكس نمط الحياة في العصور التاريخية المختلفة .  
والكتاب بذلك يعد مرجعا هاما لكل دارس لعلوم الترميم ؛ وكل مهندس يسعى للتخصص  
في مجال ترميم المنشآت الأثرية ؛ وكل مرمم يعمل في حقل ترميم الآثار .  
والله ولي التوفيق ...

الناشر

عبد الحى أحمد فؤاد

### كتب تحت الطبع

د . أحمد إبراهيم عطية  
د . أحمد إبراهيم عطية  
د . أحمد إبراهيم عطية  
د . أحمد إبراهيم عطية  
د . أحمد إبراهيم عطية

\* مبادئ الجيولوجيا للأثريين  
\* حماية وصيانة التراث الأثرى  
\* ترميم الفسيفساء الأثرية  
\* تكنولوجيا مواد الآثار  
\* كيمياء مواد صيانة الآثار

### دار الضجر للنشر والتوزيع

4 شارع هاشم الشقر - النزهة الجديدة - القاهرة  
تليفون 2944119 فاكس : 2944094

I.S.B.N 977-358-011-3

Bibliotheca Alexandrina



0429961